

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

КОНСУЛЬТАЦИИ И ПОДБОР ОБОРУДОВАНИЯ ВНЕДРЕНИЕ И ОБУЧЕНИЕ
СЕРВИСНОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ И РЕМОНТ



СВЕРДЛОВСКАЯ ОБЛАСТЬ

г. Верхняя Пышма, ул. Бажова, 28
тел./факс: (343) 283-00-50, 379-29-75
ekb@shtorm-its.ru

НОВОСИБИРСК

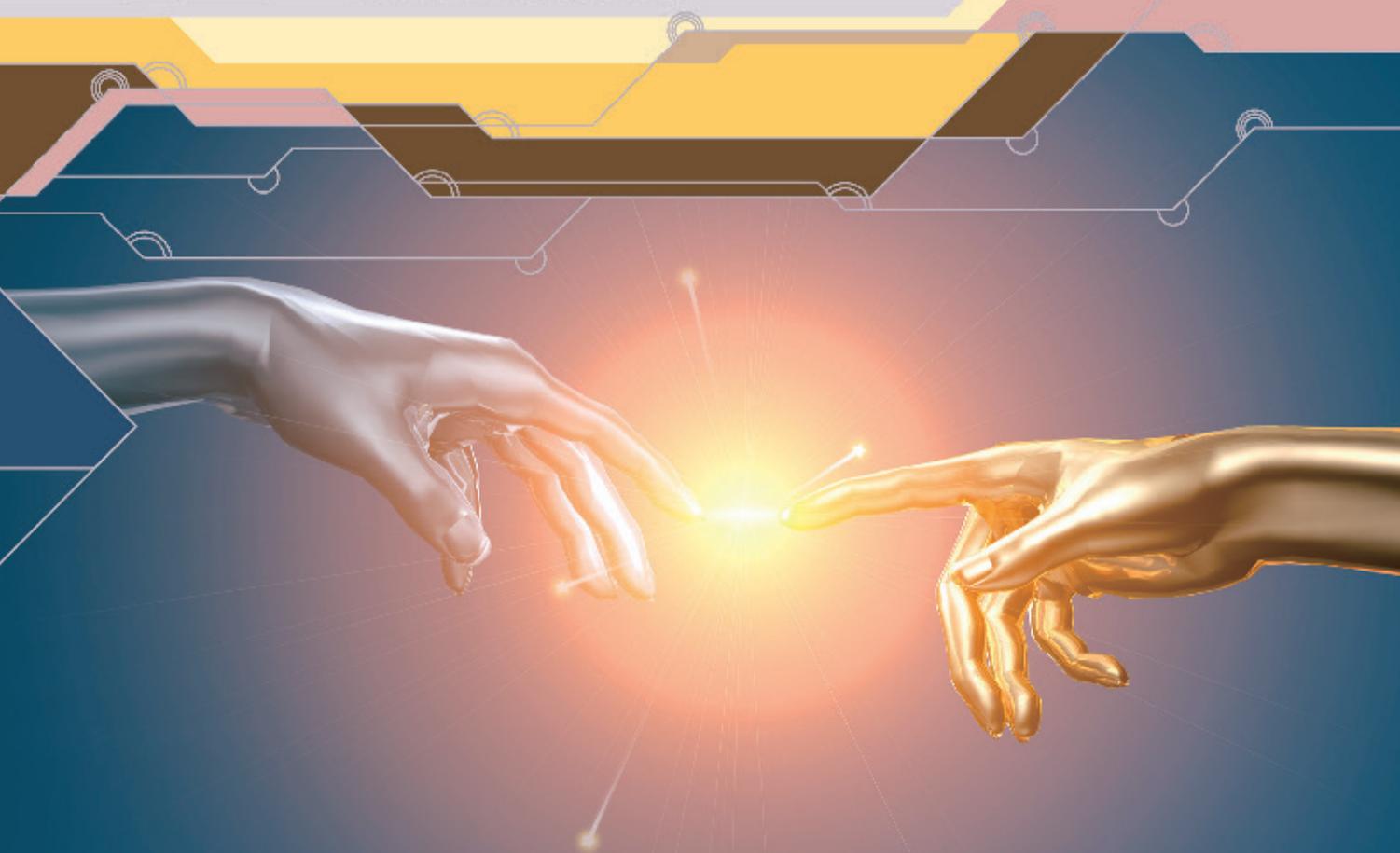
ул. Станционная, 60/10, оф. 605
тел./факс: (383) 230-00-55
nsk@shtorm-its.ru

ПЕРМЬ

ул. Решетникова, 4, оф. 103
тел./факс: (342) 237-24-69
prm@shtorm-its.ru



Центр трансфера технологий Института электросварки им. Е.О.Патона



ООО «Центр трансфера технологий Института электросварки им. Е.О.Патона» — представитель Института электросварки им. Е.О.Патона (Украина) в России. Основной вид деятельности — внедрение научно-технических разработок и достижений прикладной науки в реальное производство.

Институт электросварки им. Е.О.Патона в советское время являлся ведущим институтом в области сварки и родственных технологий и до сих пор остается крупнейшим в мире центром создания ресурсосберегающих и конкурентоспособных технологий сварки, наплавки, резки, восстановления, нанесения защитных покрытий и специальной металлургии. Более чем за 80-летнюю историю существования Института лучшими учеными страны создан и накоплен значительный интеллектуальный, научно-технический и производственный потенциал, позволяющий на самом высоком уровне создавать современные технологии, материалы и оборудование для всех отраслей промышленности.

ООО «Центр трансфера технологий Института электросварки им. Е.О.Патона» предлагает технологии и услуги, направленные на оптимальное решение технических проблем с максимальным экономическим эффектом в условиях реального производства:

- технологии восстановления и продления ресурса уникальных металлоконструкций;
- проектирование и изготовление специализированного оборудования для сварочных и наплавочных работ;
- технический аудит, консалтинг применения сварочных технологий, материалов, оборудования;
- издание производственно-практического журнала «Сварщик в России», книг и брошюр по сварке и родственным технологиям.

4 (56) 2015
июль – август

Журнал выходит 6 раз в год.

Издается с мая 2006 г.

Подписной индекс **20994**
в каталоге «Пресса России»

Подписной индекс **K0103** в каталоге российской
прессы «Почта России» — персональная подписка

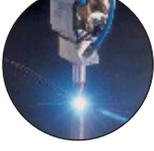
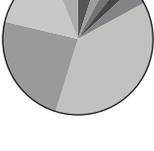
информационно-технический журнал
Сварщик®

Технологии
Производство
Сервис

в России

4–2015

СОДЕРЖАНИЕ

	Новости техники и технологий	4	
	Технологии и материалы		
	Новые высокопроизводительные электроды марки ЭЖТ-1 для восстановления узлов и деталей подвижного состава железнодорожного транспорта. <i>В. М. Кирьяков, В. Д. Позняков, А. В. Клапатык</i>	6	
	Защитные покрытия из порошка Al_2O_3 на изделиях из титана. <i>Ю. Н. Тюрин, О. В. Колисниченко, И. М. Дуда, Н. Я. Василик, М. Г. Ковалева, М. С. Прозорова, М. Ю. Арсенко</i>	10	
	Сварка термостойких пластмасс. Терморезисторная сварка. <i>М. В. Юрженко, Н. Г. Кораб, В. Ю. Кондратенко, В. В. Анистратенко</i>	15	
	Технологии и оборудование		
	Ультразвуковые технологии в сварочном производстве. <i>Г. И. Лащенко</i>	18	
	Наши консультации	22	
	Технологии производству		
	Обоснование экономической эффективности применения различных способов сварки и сталей для ремонта кожуха доменной печи № 4 ПАО «МК «Азовсталь». <i>А. Г. Синеек, Ю. В. Демченко, В. Н. Проскудин, В. Г. Тюкалов, А. А. Москаленко</i>	24	
	Сварочное производство ПАО «Турбоатом». <i>А. В. Вавилов, А. Г. Кантор</i>	28	
	Производственный опыт		
	Нагрев изложниц перед разливкой стали. <i>В. М. Литвинов, Ю. Н. Лысенко, С. А. Чумак, В. В. Капустин</i>	30	
	Экономика сварочного производства		
	Тенденции развития мирового и национального рынков сварочной техники. <i>О. К. Маковецкая, С. В. Пустановойт, В. С. Петрук, Н. С. Бровченко</i>	33	

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-24185 от 25.04.2006, выдано Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия

Издатель ООО «Центр трансфера технологий Института электросварки им. Е. О. Патона»
 119049, г. Москва, Ленинский пр. 6, с. 7, оф. 19

Тел. моб. +7 903 795 18 49

E-mail ctt94@mail.ru

Главный редактор В. Д. Позняков

Зам. главного редактора В. Г. Абрамишвили

Редактор, маркетинг О. А. Трофимец

Верстка и дизайн В. П. Семенов

За достоверность информации и содержание рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели. Мнение авторов статей не всегда совпадает с позицией редакции.

Рукописи не рецензируются и не возвращаются. Редакция оставляет за собой право редактировать и сокращать статьи. Переписка с читателями — только на страницах журнала.

При использовании материалов в любой форме ссылка на «Сварщик в России» обязательна.

© «ЦТТ ИЭС им. Е. О. Патона», 2014

Подписано в печать 00.08.2015. Формат 60×84 1/8.

Печать офсетная. Бумага офсетная. Гарнитура PetersburgC.

Отпечатано в ЗАО «ТДДС-Столица-8».

Заказ № П000000000 от 00.08.2015.

Издание выходит при содействии информационно-технического журнала «Сварщик»

Учредители Институт электросварки им. Е. О. Патона НАНУ, ООО «Экотехнология»

Издатель ООО «Экотехнология»

Главный редактор В. Д. Позняков

Зам. главного редактора В. Г. Абрамишвили

Редакционная коллегия В. А. Белинский, Ю. К. Бондаренко, А. В. Вавилов, Ю. В. Демченко, В. М. Илюшенко, Г. И. Лашенко, О. Г. Левченко, В. М. Литвинов, Л. М. Лобанов, А. А. Мазур, П. П. Проценко, С. В. Пустовойт, И. А. Рябцев

Адрес редакции 03150 Киев, ул. Горького, 62Б, а/я 52

Телефон +380 44 200 5361

Тел./факс +380 44 200 8014, 200 8018

E-mail welder.kiev@gmail.com
 trofimits.welder@gmail.com

URL http://www.welder.stc-paton.com/

ПРОДОЛЖАЕТСЯ ПОДПИСКА

Подписной индекс 20994
 в каталоге «Пресса России»

Подписной индекс K0103
 в каталоге российской прессы
 «Почта России» —
 персональная подписка

News of technique and technologies 4

Technologies and materials

New high productive electrodes of «ЭЖТ-1» (EGT-1) for the recovery of parts and components of rolling stock of railway transport.
V. M. Kiryakov, V. D. Poznyakov, A. V. Klapatyuk 6

Protective coverings from the powder of Al₂O₃ on titanium products. *Yu. N. Tyurin, O. V. Kolisnichenko, I. M. Duda, N. Ya. Vasilik, M. G. Kovaleva, M. C. Prozorova, M. Yu. Arseenko 10*

Welding of heat-resistant plastics. The thermoelectrofusion welding.
M. V. Yurzhenko, N. G. Korab, V. Yu. Kondratenko, V. V. Anistratenko 15

Technologies and equipment

Ultrasonic technologies in welding manufacture.
G. I. Lashenko 18

Our consultations 22

Technologies for production

A justification of economic efficiency of application of various methods of welding and steels for repairing of the casing of a blast furnace N. 4 at PJSC «МК «Azovstal».
A. G. Sineok, Yu. V. Demchenko, V. N. Proskudin, V. G. Tyukalov, A. A. Moskalenko 24

The welding production of PJSC «Turboatom».
A. V. Vavilov, A. G. Kantor 28

Production experience

The heating of molds before casting steel.
V. M. Litvinov, Yu. N. Lisenko, S. A. Chumak, V. V. Kapustin 30

Economic of welding production

Development tendencies of world and national markets of welding technique.
O. K. Makovetskaya, S. V. Pustovoit, V. S. Petruk, N. S. Brovchenko 33

Новые высокопроизводительные электроды марки ЭЖТ-1 для восстановления узлов и деталей подвижного состава железнодорожного транспорта

В. М. Кирьяков, В. Д. Позняков, А. В. Клапатюк

Представлены результаты разработки и создания наплавочных электродов марки ЭЖТ-1 для восстановления сваркой изношенных поверхностей подвижного состава железнодорожного транспорта. Установлено, что наплавленный электродами ЭЖТ-1 металл отличается высоким уровнем механических свойств и в 1,2 раза превосходит по трибологическим свойствам металл, наплавленный электродами АНП-13.

Защитные покрытия из порошка Al_2O_3 на изделиях из титана

Ю. Н. Тюрин, О. В. Колисниченко, И. М. Дуда, Н. Я. Василик, М. Г. Ковалева, М. С. Прозорова, М. Ю. Арсенко

Формирование наноструктурных защитных керамических покрытий из порошка Al_2O_3 осуществлялось кумулятивно-детонационным устройством на поверхности сплава титана ОТ4св. Использование кумулятивно-детонационной технологии для формирования таких материалов позволяет на порядок увеличить их твердость, износостойкость при трении, сопротивление воздействию газо- и гидроабразивного потока.

Сварка термостойких пластмасс. Терморезисторная сварка

М. В. Юрженко, Н. Г. Кораб, В. Ю. Кондратенко, В. В. Анистратенко

Изучены технологические особенности терморезисторной сварки термопластичных полимеров-полиариленов: полиэфиримида (PEI) и полиэфирэфиркетона (PEEK), перспективных при использовании их в авиационной промышленности. Установлено, что метод терморезисторной сварки внахлест для этих полимеров может быть применен в промышленных условиях при соединении деталей сложных форм, выполненных из термостойких пластмасс.

Ультразвуковые технологии в сварочном производстве

Г. И. Лащенко

Рассмотрены вопросы электроакустического напыления, ультразвуковой очистки, ультразвуковой резки. Приведены структурная схема установки для ультразвуковых технологий, принципиальные схемы ультразвуковых методов механической обработки. Рассмотрен механизм разрушения поверхностных пленок в ультразвуковом поле.

Обоснование экономической эффективности применения различных способов сварки и сталей для ремонта кожуха доменной печи № 4 ПАО «МК «Азовсталь»

А. Г. Синеок, Ю. В. Демченко, В. Н. Проскудин, В. Г. Тюкалов, А. А. Москаленко

Приведено обоснование экономической эффективности применения разных сварочных технологий и сталей при ремонте второго разряда кожуха доменной печи № 4 ПАО «МК «Азовсталь». Представлены расчеты технологической себестоимости 1 кг наплавленного металла для РДС, полуавтоматической сварки и ЭШС. Сопоставлена экономическая эффективность этих способов сварки путем сравнения их себестоимости. Отмечено, что применение ЭШС наиболее целесообразно по технико-экономическим показателям.

Нагрев изложниц перед разливкой стали

В. М. Литвинов, Ю. Н. Лысенко, С. А. Чумак, В. В. Капустин

Рассмотрены технологические особенности процесса нагрева изложниц. Представлены схемы применения и технические характеристики газовоздушной горелки ГВ-ВК7-Г2, разработанной для стенов нагрева изложниц. Приведены данные для расчета эффективности нагрева изложниц на стендах СНИ-2 и СНИ-5.

Тенденции развития мирового и национального рынков сварочной техники

О. К. Маковецкая, С. В. Пустовойт, В. С. Петрук, Н. С. Бровченко

Представлена экономико-статистическая информация о состоянии и развитии мирового и национального рынков сварочного производства. Приведены количественные и стоимостные показатели объемов производства, экспорта и импорта сварочного оборудования и материалов в мире и Украине. Сделан прогноз об увеличении объемов мирового сварочного производства и спроса на сварочные материалы в будущем.



Компания Seco представляет PCD-сплавы для фрезерных пластин

Компания Seco (штаб-квартира находится в г. Фагерста, Швеция) недавно представила два новых сплава для фрезерных пластин с напаянными вставками из поликристаллического алмаза (PCD). Эти пластины предназначены для применения с популярными фрезами серии Turbo 10.

PCD05 и PCD20 — надежные PCD-сплавы, обеспечивающие качественную обработку поверхности при чистовой обработке алюминия и титановых сплавов. Эти материалы применяются, главным образом, в авиакосмической и автомобильной промышленности. Поликристаллический алмаз эффективен также при обработке полимеров и композитных материалов.

Фрезерные пластины из сплавов PCD05 и PCD20 могут применяться во фрезах Turbo 10 отдельно или в сочетании с твердосплавными пластинами, установленными в тот же корпус. При использовании совместно с твердосплавными пластинами PCD-сплавы работают как пластины *wiper* в фиксированных карманах. Применение же только пластин PCD05 и PCD20 в одном корпусе фрезы Turbo 10 позволяет максимально использовать их потенциал и обеспечить оптимальные режимы резания.



Пластины PCD05 и PCD20 с твердосплавными корпусами представлены в размере X010 с радиусом при вершине 0,4 мм (0,016 дюйма) и длиной *wiper* 1,08 мм (0,43 дюйма).

Все корпуса фрез Turbo 10, совместимые с PCD05 и PCD20, имеют высокоточные гнезда, что минимизирует осевое биение, стабильность обработки и срок службы инструмента за счет оптимального контакта корпуса инструмента и пластины. Внутренние каналы подвода СОЖ обеспечивают высокую производительность и отличное удаление стружки. Благодаря своей универсальности фрезы Turbo 10 применимы для обработки пазов, фрезерования уступов, наклонного врезания, фрезерования плоскости, обработки карманов, осевого фрезерования и токарно-фрезерной обработки.

● #869

www.informdom.com

Всемирная ассоциация стали Worldsteel объявила о запуске интерактивных курсов Open Online Course (Моос) «Введение в сталь»

Всемирная ассоциация стали Worldsteel запустила новую образовательную программу по основам производства и применения стали. Как сообщили в ассоциации, курсы под названием «Введение в сталь» начнут работать в интерактивном режиме со 2 июня 2015 г.

Программа обучения разработана Worldsteel совместно с TenarisUniversity и призвана обеспечить студентов знаниями по истории, науке и технике в металлургических процессах. Программа рассчитана на англоязычную аудиторию.



«Введение в сталь рассказывает историю, откуда берется сталь и как она используется всеми, везде и каждый день. Сталь является настолько повседневным материалом, что многие люди не понимают, насколько важно поддерживать ее производство для сохранения более устойчивого общества», — заявил генеральный директор Worldsteel Эдвин Бассон.

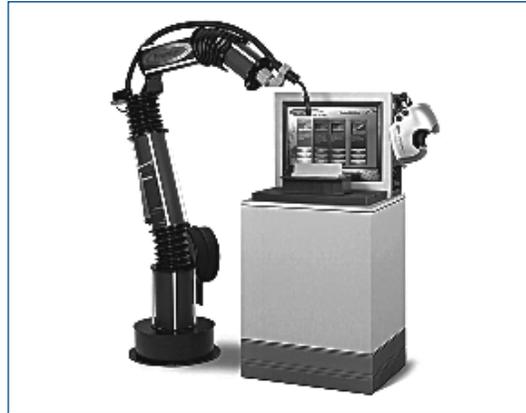
● #870

www.steelland.ru

Сварочный тренажер для программистов роботизированных установок

Компания Fronius выпустила новый тренажер Virtual Welding Robotics, который поможет инструкторам в обучении программистов роботизированных установок. Благодаря этой платформе системы моделирования можно изучить весь процесс роботизированной сварки более наглядно и без ограничений, связанных с использованием защитных устройств и отсутствием сварочного оборудования. Система предоставляет пользователю сведения о том, правильно ли запрограммирован робот и точно ли движется сварочная горелка. Виртуальный инструктор информирует о корректирующих движениях, которые необходимо выполнить при отклонении от идеальной траектории горелки. На следующем этапе моделирования демонстрируется сварочный шов, чтобы обучаемые могли визуально оценить результат сварки.

Тренажер Virtual Welding Robotics обеспечивает эффективность и удобство обучения программистов роботизированных установок в центрах профессионально-технической подготовки. Учащиеся смогут освоить базовые принципы роботизированной сварки без производственного оборудования. Благодаря этой системе занятия можно проводить в обычной аудитории. Необходима только работающая роботизированная установка. В состав системы входят также компьютеризиро-



ванный обучающий стенд со встроенным сенсорным экраном, реалистичная сварочная горелка и макеты деталей для выполнения различных видов швов и положений сварки.

Данные, собранные в ходе занятия, можно сохранить для документирования и последующего анализа. Благодаря этому программисты роботизированных установок приобретают навыки оперативной оценки результатов программирования и учатся определять воздействие перемещений робота на результат сварки.

Система Virtual Welding Robotics дополняет существующий тренажер Virtual Welding, предназначенный для обучения полуавтоматической сварке в газовой среде и/или сварке стержневым электродом. Воссоздавая реальный процесс сварки, система позволяет экономить значительные объемы материалов и электроэнергии, а также сократить время обучения.

● #871

Компания Fronius

НКМЗ изготовил оборудование чугуновогоза для «Северстали»

Новокраматорский машиностроительный завод отгрузил российской «Северстали» оборудование чугуновогоза. Об этом говорится в сообщении предприятия.

Новые узлы и детали спроектированы и выполнены по индивидуальному заказу металлургов.

В числе главных отличий оборудования с новокраматорской маркой — вместимость ковша, повышенная до 450–500 т жидкого чугуна. Управление транспортом с опасным грузом дистанционное с постов управления.

В сообщении отмечается, что предусмотренные на приводе балансиры дадут воз-



можность компенсировать неплоскостность рельсового пути при просадке фундаментов, исключить тепловые деформации, увеличить долговечность несущих конструкций и ходовых частей. Универсальный токопровод и дополнительная защита ходовых колес расширят эксплуатационные характеристики машины.

● #872

www.prometal.com.ua

Новые высокопроизводительные электроды марки ЭЖТ-1 для восстановления узлов и деталей подвижного состава железнодорожного транспорта

В. М. Кирьяков, канд. техн. наук, **В. Д. Позняков**, д-р техн. наук, **А. В. Клапатюк**, вед. инж.,
Институт электросварки им. Е. О. Патона НАНУ

Представлены результаты разработки и создания наплавочных электродов средней твердости марки ЭЖТ-1 для восстановления сваркой изношенных поверхностей узлов и деталей подвижного состава железнодорожного транспорта. Изучено влияние режимов проковки и хранения электродов на пористость и количество диффузионного водорода в наплавленном металле. Изучен уровень износостойкости и микроструктура наплавленного металла. Установлено, что наплавленный электродами ЭЖТ-1 металл отличается высоким уровнем механических свойств и в 1,2 раза превосходит по трибологическим свойствам металл, наплавленный электродами АНП-13. Повышению технологической прочности наплавленного металла способствует правильно выбранная легирующая основа электродов, обеспечивающая мелкозернистую бейнитно-ферритную микроструктуру и вязкий характер излома образцов.

Железнодорожный транспорт относится к наиболее динамично развивающимся отраслям народного хозяйства. В то же время, постоянно увеличивающиеся нагрузки на подвижной грузовой состав, интенсивность и скорость перевозок приводят к активному износу узлов грузовых вагонов. Большинство изношенных в процессе эксплуатации поверхностей восстанавливаются посредством наплавки, в том числе ручной дуговой сваркой покрытыми электродами.

С целью повышения производительности процесса восстановительной наплавки, которая выполняется с использованием ручной дуговой сварки, и улучшения качества по-

лучаемых при этом соединений, в середине 90-х годов прошлого столетия в Институте электросварки им. Е. О. Патона были разработаны высокопроизводительные электроды с особо толстым покрытием марки АНП-13 [1]. С 1996 г. началось их широкое применение в железнодорожной отрасли, а к 2010 г. объем их потребления возрос от 60 до 600 т в год.

Основным достоинством электродов АНП-13 является то, что они обеспечивают высокую производительность наплавки ($\alpha = 12,5$ г/А×ч), твердость наплавленного металла НВ 230–270 на уровне требований, предъявляемых к изделиям из литых сталей типа 20ГЛ: качественное формирование валков с гладкой мелкочешуйчатой поверхностью, легкое отделение шлака с поверхности наплавленного металла, плавное сопряжение отдельных валков между собой и наплавленного металла с восстанавливаемой деталью (рис. 1). Все это позволило во многих случаях исключить из технологического процесса восстановления сваркой трущихся поверхностей узлов грузовых железнодорожных вагонов операции по механической обработке наплавленных деталей.

Однако, как показал многолетний опыт изготовления и применения электродов марки АНП-13 в производственных условиях, они имеют не только преимущества, но и недостатки, связанные с повышенной гигроскопичностью электродного покрытия. В силу этих обстоятельств они оказались чувствительными к сезонным изменениям влажности воздуха. С ее повышением увеличивалась влажность покрытия электродов, что приводило к ухудшению сварочно-технологических характеристик материала: пористости, увеличе-



Рис. 1. Поверхность подпятника восьмиосной 120 т цистерны, наплавленной электродами АНП-13

нию содержания диффузионного водорода в наплавленном металле и, как следствие, к снижению сопротивляемости соединений образованию холодных трещин. Появилась необходимость в создании новых высокопроизводительных электродов, которые бы обладали высокими сварочно-технологическими, трибологическими и служебными свойствами, но которые бы не имели недостатков присущих электродам марки АНП-13. Такие электроды были созданы в Институте электросварки им. Е. О. Патона в 2009 г. и в дальнейшем получили марку ЭЖТ-1 [2].

Электроды ЭЖТ-1, как и электроды марки АНП-13, изготавливаются с применением стержней из проволоки марки Св-08А диаметром 3, 4, и 5 мм, а введение в них легирующих элементов осуществляется через покрытие. Химический состав, наплавленного электродами АНП-13 и ЭЖТ-1 металла, приведен в *табл. 1*.

Шлаковая основа электродов ЭЖТ-1 относится к рутил-основной системе типа $\text{CaF}_2\text{-TiO}_2\text{-CaCO}_3$. Соотношение шлакообразующих элементов, входящих в состав покрытия электродов, обеспечивает им высокие сварочно-технологические характеристики. Введение в шлак аморфного кварца (маршалита) позволило существенно уменьшить гигроскопичность покрытия электродов, снизить содержание диффузионного водорода в наплавленном металле и за счет этого повысить стойкость сварных швов против образования пор, что подтверждается результатами исследований.

Гигроскопичность покрытия электродов марки ЭЖТ-1 и АНП-13 оценивали косвенным путем, анализируя зависимость изменения содержания диффузионного водорода в металле, наплавленном электродами непосредственно после прокалики, а также после их выдержки на воздухе в течение 3-х и 6-ти суток. Прокалку электродов производили при температурах 350 и 380 °С. Длительность прокалки составляла 1 час. После прокалки электроды охлаждались вместе с печью до температуры 70 °С, а затем передавались в цех для исследований, где они хранились при температуре и влажности воздуха соответственно плюс 21 °С и 70%. Содержание диффузионного водорода в наплавленном металле определили методом «карандашных проб», используя в каче-

стве запирающей жидкости смеси дистиллированной воды (4 части) и глицерина (1 часть) [3]. Результаты исследований приведены в *табл. 2*.

Анализ полученных результатов свидетельствует, что в состоянии после прокалки содержания диффузионного водорода в металле, наплавленном электродами ЭЖТ-1 и АНП-13, достаточно близкие. Существенно на насыщенность металла водородом влияет температура прокалки. Увеличение температуры прокалки электродов от 350 до 380 °С позволяет снизить содержания диффузионного водорода в металле, наплавленном электродами ЭЖТ-1 от 4,6 до 2,3 $\text{см}^3/100 \text{ г}$, а электродами АНП-13 от 5,5 до 2,4 $\text{см}^3/100 \text{ г}$. В процессе хранения электродов после прокалки на воздухе (вне печи) влажность покрытия увеличивается и соответственно содержание водорода в наплавленном металле растет. Более существенный рост содержания водорода при этом наблюдается в металле, наплавленном электродами марки АНП-13. Выдержка этих электродов после прокалки при температуре 380 °С на воздухе в течение 3-х суток привела к повышению содержания диффузионного водорода в наплавленном металле от 2,4 до 3,1 $\text{см}^3/100 \text{ г}$, а в течение 6-ти суток – до 4,3 $\text{см}^3/100 \text{ г}$, т.е на 29% и на 80% соответственно. При этих же условиях прокалки и хранения электродов марки ЭЖТ-1 содержание диффузионного водорода в наплавленном ими металле повысилось на 17% и 41%, от 2,3 до 2,7 и 3,2 $\text{см}^3/100 \text{ г}$.

Как показали дальнейшие исследования, по сварочно-технологическим характеристикам электроды ЭЖТ-1 не уступают АНП-13. Наплавленный ими металл имеет гладкую мелкошугчатую поверхность без остатков прилипшего шлака, а сама шлаковая корка с поверхности наплавки

Таблица 1. Химический состав металла, наплавленного электродами АНП-13 и ЭЖТ-1

Марка	Химический состав наплавленного металла							
	С	Si	Mn	Cr	Ti	V	S	P
	не более	в пределах			не более			
ЭЖТ-1	0,15	0,50–0,90	1,10–1,50	0,50–0,80	0,08	0,10	0,030	0,040
АНП-13	0,15	0,50–0,90	1,80–2,50	0,40–0,60	–	0,10	0,030	0,030

Таблица 2. Содержание диффузионного водорода в металле, наплавленном электродами ЭЖТ-1 и АНП-13

№ п/п	Марка электродов	Температура прокалки, °С	Выдержка после прокалки, сут.	Количество [H], $\text{см}^3/100 \text{ г}$
1	ЭЖТ-1	350	0	4,6
2	ЭЖТ-1	380	0	2,3
3	ЭЖТ-1	350	3	4,6
4	ЭЖТ-1	380	3	2,7
5	ЭЖТ-1	350	6	5,0
6	ЭЖТ-1	380	6	3,2
7	АНП-13	350	0	5,5
8	АНП-13	380	0	2,4
9	АНП-13	380	3	3,1

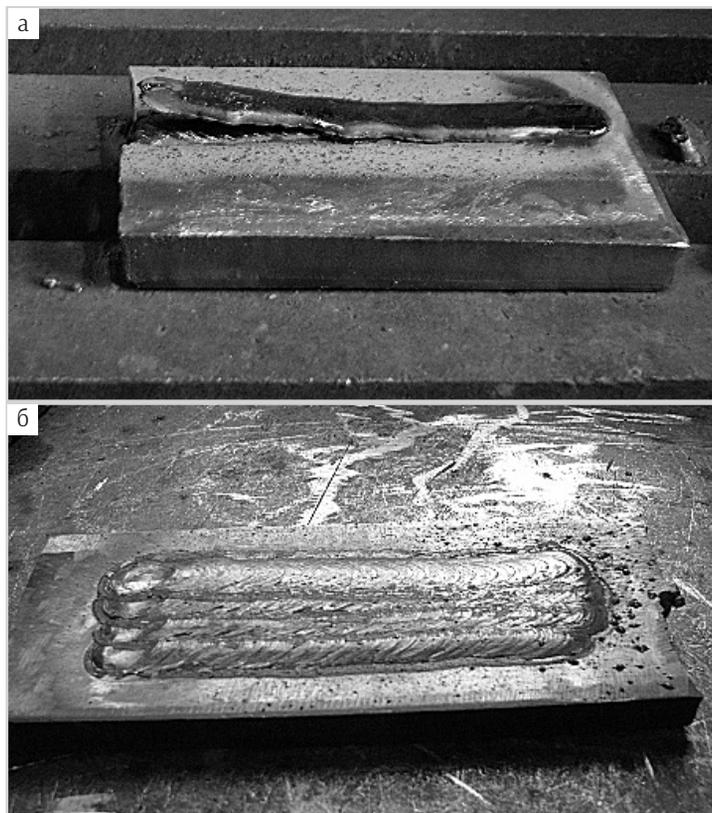


Рис. 2. Общий вид сварного шва выполненного электродами ЭЖТ-1: а – отделимость шлаковой корки; б – наплавленная поверхность

Таблица 3

№ п/п	Сварочный материал	Механические свойства наплавленного металла						Твердость, НВ
		σ_T , МПа	σ_B , МПа	δ_5 , %	ψ , %	a_{ch} , Дж/см ²		
						+20 °С	-40 °С	
1	АНП-13	510	680	10–17	48	85–95	46–52	23–27
2	ЭЖТ-1	640	820	18–20	58	98–102	50–56	27–30

Рис. 3. Микроструктура металла, наплавленного электродами ЭЖТ-1 (третий валик трехслойной наплавки)

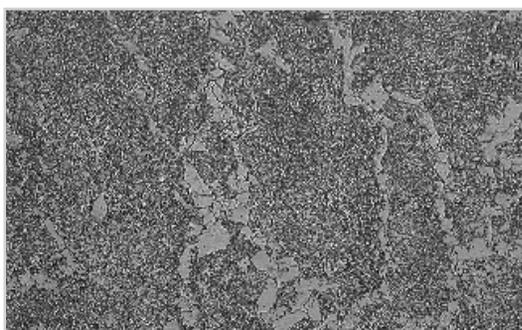
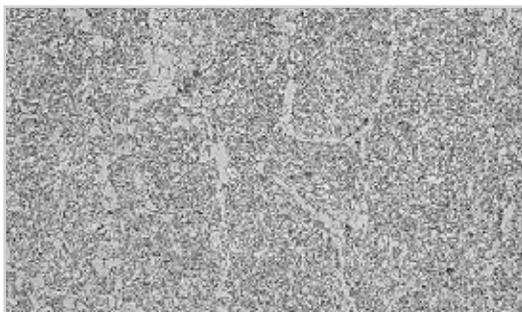


Рис. 4. Микроструктура металла, наплавленного электродами марки ЭЖТ-1 (первый валик трехслойной наплавки)



отделяется самопроизвольно (рис. 2, а). Сопряжение валиков в наплавке между собой и с основным металлом характеризуется плавными переходами (рис. 2, б).

Наплавка поверхности пластины из стали 17Г1С выполнялась на следующих режимах: $I_{св} = 200–220$ А, $U_d = 28–32$ В.

В процессе разработки новых электродов были выполнены исследования механических свойств наплавленного ими металла. Для определения механических характеристик наплавленного электродами металла выполнялась сварка стыкового соединения из пластин стали 3 размером $350 \times 60 \times 16$ мм с углом раскрытия кромок 30° . Чтобы исключить влияние основного металла на металл сварного шва выполняли предварительную плакировку кромок разделки. Сборку стыкового соединения из плакированных деталей производили на подкладной пластине стали марки 3 толщиной 4 мм с зазором между кромками в корневой части от 12 до 15 мм. Сварку выполняли электродами диаметром 4 мм на режимах: $I_{св} = 200–220$ А, $U_d = 28–32$ В. Из наплавленного металла изготавливались образцы МИ-12 (II) и МИ-47 для механических испытаний, а также шлифы для металлографических исследований.

Механические свойства наплавленного металла представлены в табл. 3.

Анализ полученных данных показывает, что электроды ЭЖТ-1 обеспечивают более высокие показатели наплавленного металла чем АНП-13, в том числе: прочность на 17–20%, ударную вязкость на 7–13% и твердость на 7–10%. Таким образом, результаты исследования механических свойств наплавленного металла подтверждают его высокие технологические характеристики.

Металлографические исследования микроструктуры металла, наплавленного электродами ЭЖТ-1, производились с применением прибора Неофот-2. Исследовался металл наплавленный на сталь типа 17Г1С электродами диаметром 4 мм постоянным током обратной полярности на режимах: $I_{св} = 200–220$ А, $U_d = 28–32$ В. Результаты исследований микроструктуры приведены на рис. 3 и 4.

Как показали исследования, микроструктура наплавленного металла мелкозернистая и состоит в основном из бейнита глобулярной и частично пластинчатой

морфологии, а также разориентированного игольчатого феррита, что обеспечивает наплавленному металлу высокие вязкость и износостойкость.

Для определения технологической прочности наплавленного металла были выполнены исследования изломов образцов, наплавленных электродами ЭЖТ-1. Испытаниям на излом подвергались образцы, наплавленные в медную водоохлаждаемую изложницу, а также сварные многослойные швы, наплавленные на пластины из металла Ст 3 толщиной 20 мм. После испытаний образцов визуально исследовался характер разрушений – *рис. 5 и 6*.

Как видно из *рис. 5 и 6*, металл, наплавленный электродами марки ЭЖТ-1, отличается вязкостью излома, матовой поверхностью без вкраплений кристалла, что подтверждает высокую технологическую прочность и износостойкость наплавленного металла.

Уровень износостойкости наплавленного металла исследовали во ВНИИЖТ (Москва) при сухом трении скольжения на машине Шпиндлера. Исследуемый металл подвергался абразивному воздействию диска с фиксированной твердостью, при нагрузке 14 кгс, вращающегося с окружной скоростью 0,14 м/с и продолжительностью 50 оборотов [4]. Показателем износостойкости считался объем лунки при истирании наплавленного металла. Результаты исследований приведены в *табл. 4*.

Как видно из *табл. 4* износостойкость металла, наплавленного электродами ЭЖТ-1, в 3 раза выше, чем показатели основного металла и в 1,2 раза превышает параметры металла, наплавленного электродами АНП-13. Таким образом видно, что наплавленный электродами ЭЖТ-1 металл обладает более высокими трибологическими свойствами.

Производство электродов ЭЖТ-1 освоено на Орловском электродном заводе. В октябре-ноябре 2010 г. была изготовлена промышленная партия объемом свыше 60 т. В настоящее время электроды марки ЭЖТ-1 нашли широкое применение при восстановлении наплавкой узлов и деталей железнодорожного транспорта.

Таким образом, электроды марки ЭЖТ-1 полностью заменили широко применяемые до настоящего времени электроды АНП-13. Электроды ЭЖТ-1 по многим параметрам,

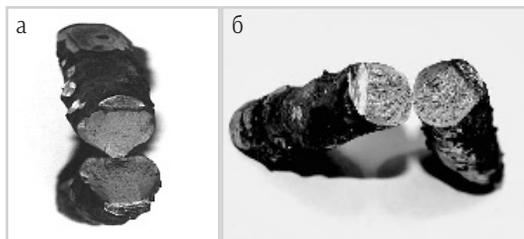


Рис. 5. Внешний вид излома разрушенных образцов, наплавленных в медную изложницу: а – электроды ЭЖТ-1; б – электроды АНП-13



Рис. 6. Внешний вид излома сварного шва, наплавленного электродами ЭЖТ-1 на пластину из стали 3

Таблица 4

№ п/п	Материал	Объем лунки износа, мм ³	Относительная износостойкость
1	20ГЛ	57,26	1
2	АНП-13	23,40	2,45
3	ЭЖТ-1	19,72	2,90

таким как гигроскопичность покрытия, отделимость шлаковой корки, износостойкость наплавленного металла, превышают соответствующие показатели электродов АНП-13.

Замена шихтовых компонентов в покрытии электродов ЭЖТ-1 привела к улучшению сварочно-технологических свойств и обеспечила снижение гигроскопичности электродного покрытия.

Комплексное легирование наплавленного металла посредством шихтовых компонентов электродного покрытия позволило обеспечить высокие технологические показатели восстановленных сваркой изношенных поверхностей узлов и деталей подвижного состава железнодорожного транспорта.

Список литературы

1. Пат. 2104140 РФ Электрод для ручной дуговой наплавки слоя стали средней твердости / Н. В. Павлов, В. Н. Лозинский, В. М. Кирьяков, А. В. Клапатюк. – Оpubл. 30.07.1996 г.
2. Пат. 2394671 РФ Электрод для ручной дуговой наплавки слоя стали / Н. В. Павлов, В. М. Кирьяков, А. В. Клапатюк. – Оpubл. 23.07.2009 г.
3. Макаров Э. В. Холодные трещины. – М.: Машиностроение, 1981. – 271 с.
4. Павлов Н. В., Струнец В. К., Абраменко Д. Н. и др. Трибологические свойства пар трения деталей железнодорожного подвижного состава, восстановленных износостойкой наплавкой // Сб. докл. Межрегионал. семинара «Современное оборудование, технологии и материалы для сварочного производства». – Томск, 2004. – С. 67–74

Защитные покрытия из порошка Al_2O_3 на изделиях из титана

Ю. Н. Тюрин, О. В. Колисниченко, И. М. Дуда, Институт электросварки им. Е. О. Патона НАНУ,
Н. Я. Василик, Институт химической физики им. Н. Н. Семенова РАН (Москва, РФ),
М. Г. Ковалева, М. С. Прозорова, М. Ю. Арсеенко, Белгородский государственный университет (РФ)

Титановые сплавы отличаются сочетанием ряда ценных свойств, перспективных для применения во многих областях современной техники. К недостаткам титана следует отнести: невысокие антифрикционные свойства; склонность титана и многих его сплавов к водородной хрупкости и солевой коррозии; низкую износостойкость в условиях воздействия гидро-газоабразивного потока. Например, при эксплуатации поверхность лопаток компрессора турбины постоянно подвержена воздействию газоабразивного потока. В результате, материал лопатки (сплав на основе титана) подвергается эрозионному износу твердыми частицами, которые присутствуют в газе. Образуются повреждения, снижающие эффективность работы компрессора. Другой пример — детали геодезического оборудования, которые изготавливаются из сплава ОТ4св и изнашиваются потоками воды, содержащими абразивные частицы.

Известно, что в воздухе на поверхности изделия из титана формируется окисная пленка, которая препятствует адгезии материала покрытия к подложке и затрудняет формирование защитного покрытия. Для разрушения этой пленки и активации поверхности титанового изделия наиболее перспективны детонационные технологии, которые осуществляют механическую активацию поверхности подложки. Технология осуществляется без нагрева деталей ($<200\text{ }^\circ\text{C}$), что исключает термические поводки, структурные и фазовые превращения в сплаве.

В настоящее время значительный интерес вызывают защитные керамические покрытия на основе оксида алюминия Al_2O_3 , обладающие хорошими физико-механическими и химическими характеристиками (высокой твердостью, стойкостью к износу и воздействию агрессивной среды, низкой тепло- и электропроводностью и т.д.).

Керамические покрытия используют, как правило, для защиты деталей, работающих в тяжелых условиях. Они характеризуются высокой стойкостью в агрессивных и окисли-

тельных средах, а также обеспечивают защиту деталей при работе в условиях высоких температур, гидро- и газоабразивного износа. Кроме того, порошки на основе Al_2O_3 имеют невысокую стоимость, что определяет экономическую эффективность их применения.

Целью настоящей работы является исследование возможности повышения стойкости к гидро- и газоабразивному изнашиванию образцов и изделий из титанового сплава, путем создания на их рабочей поверхности защитных керамических покрытий Al_2O_3 с использованием кумулятивно-детонационной технологии.

Для напыления покрытий была использована многокамерная кумулятивно-детонационная горелка (рис. 1). Горелка содержит: камеру газодинамического смешивания компонентов горючей смеси 1, свечу зажигания 2, фор-камеру 3, камеру для смешивания газов 4, кольцевую камеру сгорания 5, кумулятивную камеру 6, камеру для нагрева и синхронизации ввода порошка 7, узел 8 для крепления сменных камер 9 и узел 10 для крепления насадки для отклонения продуктов сгорания. Эта горелка использует практически все горючие газы (кроме ацетилена) в смеси с кислородом и воздухом. Газодинамическое смешивание компонентов горючей смеси в камерах 1 и 4, а также фор-камерное зажигание свечой 2 в камере 3 обеспечивает инициирование детонационного режима сгорания в горючих смесях любой концентрации. Камера 5 обеспечивает формирование многоступенчатых ударных волн в продуктах сгорания, которые объединяются в камере 6 и, в дальнейшем, используются для ускорения и нагрева порошковых материалов в камере 9. Порошковый материал предварительно подогревается в камере 7, делится на порции и импульсно выдается в камеру 9 с частотой, синхронной частоте инициирования детонации.

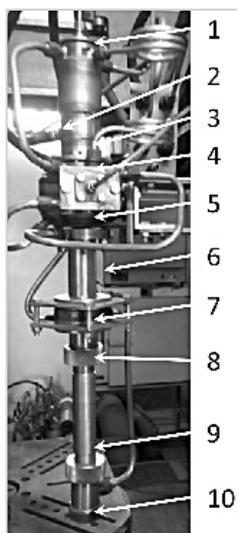


Рис. 1. Многокамерная кумулятивно-детонационная горелка

Суммирование энергий продуктов сгорания горючей смеси от нескольких специализированных камер приводит к кумулятивному эффекту и позволяет формировать высокоскоростной поток (>2000 м/с). Скорость и температура продуктов сгорания зависят от соотношений окислительного, горючего и нейтрального газа при заполнении детонационных камер. Порошок и газы подаются в горелку непрерывно. Дозирование и синхронизация заполнения камер порошком и газами осуществляется автоматически за счет использования энергии газодинамических струй от предыдущего импульса сгорания. Особенностью многокамерного газодинамического ускорителя является то, что для разгона и нагрева порошка используются кумулированные потоки продуктов сгорания, которые образуются в нескольких детонационных камерах, точное дозирование и синхронизации ввода напыляемого порошка.

Для нанесения керамического покрытия на поверхности изделий из титановых сплавов использовали горючую смесь: пропан (30%) + бутан (70%), кислород и воздух. Формирование керамического покрытия осуществляли с частотой инициирования сгорания горючей смеси — 20 Гц. Покрытия наносили послойно при возвратно — поступательном перемещении горелки с поперечным смещением при каждом ее перемещении на 4 мм и с трехкратным перекрытием при формировании слоя. Производительность процесса составляла 550 г/ч. Значение скорости переднего фронта порошковой струи, оцененное на отрезке 20–50 мм от среза сопла, составила — (1400 ± 150) м/с. Покрытие наносили из порошка Al_2O_3 — AMPERIT®740.0.

Фракционный состав и распределение по размерам частиц порошка определяли с помощью лазерного анализатора размеров частиц Analysette22 NanoTec. Исследование микроструктуры, элементного состава порошка и покрытия Al_2O_3 проводили с помощью растрового электронно-ионного микроскопа (РЭМ) Quanta 2003D, оснащенного детектором рентгеновского излучения системы PEGASUS 2000. Пористость покрытия определяли металлографическим методом с элементами качественного и количественного анализа геометрии пор с применением оптическо-

го инвертированного микроскопа Olympus GX51. Рентгеноструктурные исследования порошка и покрытия проводили с помощью использования дифрактометра Ultima IV Rigaku и просвечивающего микроскопа (ПЭМ) с полевой эмиссией Tescan G220F S-T. Микротвердость по поперечному микрошлифу покрытия и подложки определяли используя автоматическую систему анализа микротвердости DM-8 по методу микро-Виккерса при нагрузке на индентор 0,3 Н. Исследование трибологических характеристик покрытий проводили по стандартной схеме испытания «шарик–диск» на автоматизированной машине трения (Tribometer, CSM Instruments, Швейцария) с применением фактографического анализа бороздки износа покрытий и пятна износа на контртеле (шарик из корунда диаметром 6 мм). Испытания износостойкости проведены на воздухе при нагрузке 6 Н, линейной скорости 15 см/с, с радиусом кривизны износа 5 мм, пути трения — 1200 м. Измерение глубины бороздок проводили в 4-х диаметрально и ортогонально противоположных областях образца на автоматизированном прецизионном контактом профилемере Surtronic 25 и определяли среднее значение площади поперечного сечения и глубины бороздки износа. Определение адгезионной прочности покрытий проведено на электромеханической машине Instron 5882 (USA) согласно стандарту ASTM C633. Метод испытания, описанный в этом стандарте, используется для определения адгезионной или когезионной прочности газотермического покрытия. Испытания износостойкости, при газоабразивном воздействии в потоке твердых частиц, проведены на установке для пневмоструйной обработки Euroblast (фирма Guyson, Англия) по ГОСТ 23.201-78. Метод газоабразивного изнашивания основан на одновременном воздействии на испытуемые образцы потоков твердых частиц, создаваемых центробежным ускорителем при фиксированных режимах испытаний. Испытания проводили сжатым воздухом, чтобы подавать абразивный материал прямо на образцы. Давление воздуха составило 3 атм., диаметр сопла — 5 мм, частота вращения ротора — 6000 об./мин., расстояние от сопла до образца — 60 мм, угол атаки 90° , количество используемого абразива — $(5 \pm 0,2)$ кг. В качестве абразивного материала использовали электрокорунд марки 25А М28 ГОСТ 3647-80 (размер частиц 20–28 мкм).

Покрытие наносили из порошка Al_2O_3 — AMPERIT®740.0 с основной фракцией (5,6–22,5) мкм. Рентгеноструктурный анализ порошка показал, что порошок состоит из частиц оксида алюминия $\alpha-Al_2O_3$ с тригональной решеткой и $\gamma-Al_2O_3$ с кубической решеткой и содержанием примесей (оксида кремния, железа) порядка 3,83% (табл. 1). Электронно-микроскопические исследования поперечного шлифа системы «покрытие–подложка» (рис. 2) показали, что покрытие из порошка Al_2O_3 представляет собой чередование характерно упакованных «чешуек» — деформированных дискретных частиц. Пористость полученного покрытия составила менее 0,5%. Покрытие формирует-

ся путем последовательной укладки множества деформированных частичек, имеющих разную температуру, скорость и массу (рис. 2, з). Размер деформированных частичек составил $\approx (0,5-3)$ мкм (рис. 2, з).

Таблица 1. Фазовый состав порошка и покрытия Al_2O_3

Материал	Фазовый состав, масс. %				
	$\alpha-Al_2O_3$	$\gamma-Al_2O_3$	$\Theta-Al_2O_3$	Примеси SiO_2, Fe	Аморфная фаза
Порошок Al_2O_3	3,83	92,34	—	3,83	—
Покрытие	13,35	9, 5	75,35	0, 3	1,55

Из-за присутствия в исходном порошке частиц размером до 30 мкм, в полученном слое керамики наблюдаются недеформированные раздробленные частички, что обуславливает выкрашивание этих частиц при шлифовании образцов (рис. 2, з).

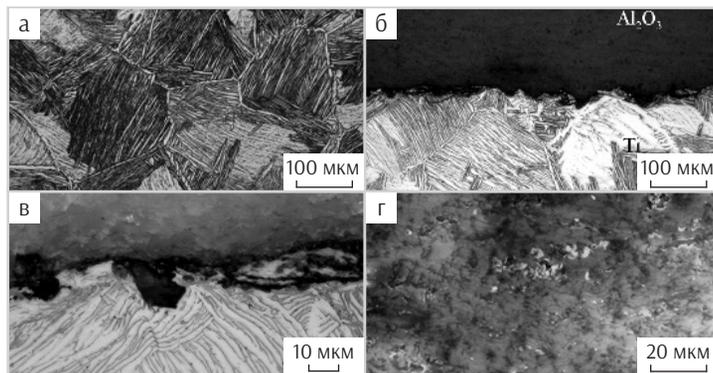


Рис. 2. Микроструктура: а – титанового деформируемого сплава ОТ4св в исходном состоянии; б – системы «покрытие – сплав ОТ4св»; в – граничной зоны «покрытие Al_2O_3 – сплав ОТ4св»; г – покрытия Al_2O_3 , нанесенного кумулятивно-детонационным методом на подложку из сплава ОТ4св

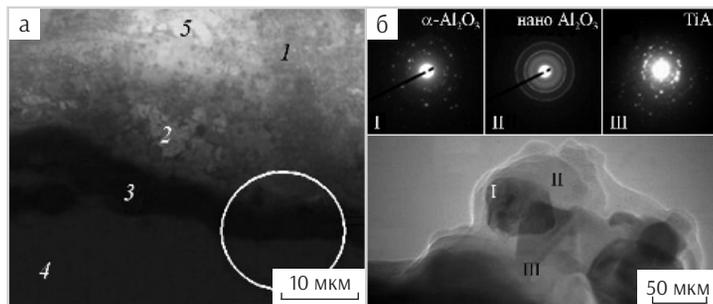


Рис. 3. Граничная зона «покрытие Al_2O_3 / сплав ОТ4св»: а – РЭМ; б – ПЭМ. 1 – покрытие; 2 – переходной слой от покрытия; 3 – переходной слой от подложки; 4 – подложка

Таблица 2. Элементный состав системы «покрытие Al_2O_3 / сплав ОТ4св» (рис. 3, а)

Область анализа	Содержание элементов, масс. % / ат. %		
	O	Al	Ti
1	33,79 / 48,70	52,06 / 44,49	14,15 / 6,81
2	33,38 / 48,84	49,07 / 42,58	17,55 / 8,58
3	33,74 / 50,90	40,23 / 35,98	26,03 / 13,12
4	6,31 / 16,21	5,10 / 7,77	88,59 / 76,02
5	34,28 / 49,30	51,36 / 43,80	14,36 / 6,90

В результате проведенных исследований установлено, что видимая граница прилегания керамического покрытия к подложке не имеет дефектов, то есть участков с ослабленными связями, которые являются микротрещинами, находящимися в одной плоскости и способными к распространению при наложении внешних нагрузок. В зоне контакта покрытия с подложкой обнаружена смешанная структура, состоящая из островков керамического материала в титане весьма разнообразных форм и размеров (рис. 3, а, б).

Согласно результатам элементного анализа, в слое покрытия (рис. 3, а, точки 1, 2, 5) в основном содержатся алюминий и кислород, и их концентрация в разных точках изменяется незначительно (табл. 2). Известно, что при взаимодействии углерода с титаном в покрытии образуются хрупкие фазы, что приводит к появлению трещин на границе и образованию сквозных пор, но присутствие углерода в объеме покрытия и граничной зоны не выявлено.

Алюминий и кислород стабильно присутствуют во всем слое керамического покрытия, что и следовало ожидать, исходя из химического состава наносимого порошка. Элементный состав покрытия неоднородный (табл. 2), на границе между переходной зоной и основным покрытием (рис. 3, а, область 3) содержится ≈ 34 масс. % Al, ≈ 40 масс. % O, остальное Ti. Наличие в этой области ≈ 26 масс. % Ti можно объяснить его переносом из подложки. При высокоскоростном формировании керамики на подложке происходит частичная деструкция оксида алюминия и перемешивание продуктов деструкции с материалом подложки. Высокая скорость нанесения дисперсных материалов обеспечивает их деформирование, частичную механо-химическую деструкцию и образование достаточно толстого (5 мкм) переходного слоя, который обеспечивает сопряжение керамического слоя с подложкой из титана. В переходном слое «покрытие подложка» имеются нанокристаллические интерметаллические соединения TiAl (рис. 3, б). Присутствие в приграничном слое между покрытием и подложкой металлического алюминия и интерметаллидов AlTi способствует релаксации напряжений. Следовательно, титан следует рас-

смазывать как примесь, благоприятно влияющую на механические свойства приграничного слоя между подложкой и покрытием. Исследования адгезионной прочности покрытия показали следующий результат (35 ± 8) МПа.

Проведенный рентгенофазовый анализ показывает, что концентрация основных составляющих покрытия — алюминия и кислорода, в разных точках покрытия, изменяется незначительно. Фазовый состав покрытия (табл. 1) в основном представлен частицами θ - Al_2O_3 и α - Al_2O_3 (в незначительном количестве присутствуют включения SiO_2 , γ - Al_2O_3) и аморфной фазы, состоящей из Al, O, Fe и Si. Микротвердость покрытия составляет $(1300 \pm 25) HV_{0,3}$ (твердость ОТ4св — $(200 \pm 10) HV_{0,3}$). Фактор износа керамического покрытия из порошка $Al_2O_3 - 2,02 \cdot 10^{-4} \text{ мм}^2 / (\text{Н} \cdot \text{м})$, а сплава ОТ4св — $6,97 \cdot 10^{-5} \text{ мм}^2 / (\text{Н} \cdot \text{м})$.

Нанесение защитных наноструктурных керамических покрытий Al_2O_3 не оказывает влияния на изменение микроструктуры сплава ОТ4св (рис. 2, б). Данный вывод открывает возможность использования кумулятивно-детонационной технологии нанесения защитных наноструктурных керамических покрытий Al_2O_3 , с целью обеспечения высоких эксплуатационных свойств деталей из титанового сплава (например, деталей геофизических приборов и лопаток компрессора газотурбинного двигателя).

При испытаниях на износ титановых сплавов, в условиях сухого трения, преобладает механизм адгезионного изнашивания. Керамическое покрытие на поверхности образца из титанового сплава ОТ4св исключает адгезионную составляющую износа и увеличивает его износостойкость почти на порядок.

В результате анализа рельефа износа поверхности керамических покрытий установлено, что поверхность трения представляет собой продольные контактные участки, ориентированные по направлению скольжения, которые не имеют значительных повреждений и изменений.

Газоабразивную стойкость образцов из сплава ОТ4св с керамическим покрытием определяли путем воздействия потока абразивных частиц. Износ определяли по изменению массы образца и сравнению полученной величины с износом ис-

Таблица 3. Результаты исследований газоабразивной стойкости образцов из сплава ОТ4св

Материал	Начальная масса, г	Масса образца после испытания, г	Величина износа, $\Delta m / m_0, \%$
Сплав ОТ4св	14,6517	14,5647	0,5938
Покрытие Al_2O_3 на сплаве ОТ4св	15,3351	15,2781	0,3717

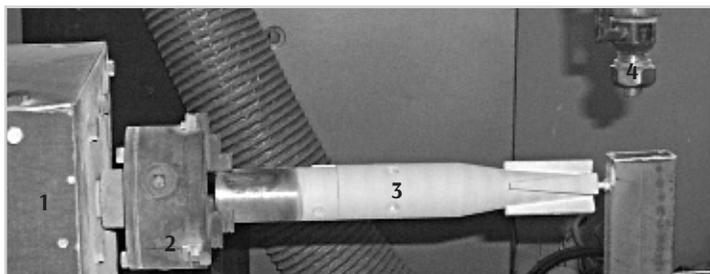


Рис. 4. Устройство для вращения деталей

ходного образца (сплав ОТ4св без покрытия). В табл. 3 представлены результаты взвешивания образцов, рассчитанные по формуле: $\zeta = \Delta m \cdot 100 / m_0$, где Δm — изменение массы образца в результате испытания на износ; m_0 — начальная масса образца. За стойкость к газоабразивному изнашиванию принимали соотношение величины износа исследуемого образца к износу образца в исходном состоянии. При проведении эксперимента обнаружен эффект насыщения (шаржирования) поверхности сплава ОТ4св частицами абразивного материала (порошка электрокорунда 25А М28). Это эффект ведет к увеличению веса образца и, соответственно, к снижению эффективности измерения результатов износа. Установлено, что стойкость к газоабразивному изнашиванию образца с защитным керамическим покрытием по сравнению с образцом без покрытия повысилась в 2 раза.

Исследование гидроабразивного износа керамического покрытия осуществлялись в процессе промышленных испытаний деталей геофизического оборудования. Нанесение покрытий осуществляли многокамерной кумулятивно-детонационной горелкой (рис. 1) на специализированном манипуляторе (рис. 4), который состоит из устройства для вращения деталей и 3-х координатной системы перемещения горелки. Манипулятор состоит из вращателя — 1, устройства — 2 для закрепления детали — 3, многокамерной кумулятивно-детонационной горелки — 4.

Контроль износа керамического покрытия осуществляли при анализе износа центратора (рис. 5, а), который подвергается наиболее интенсивному гидроабразивному износу. Покрытие наносилось при технологических режимах, аналогичных для исследуемых образцов.

Центратор работает в скоростном потоке подземных вод, содержащих абразивные частицы размером до 3000 мкм. Промышленные испытания центраторов в течение двух лет показали, что керамическое покрытие имело высокую стойкость к износу и не разрушалось на поверхности. Разрушение поверхности центратора начиналось на острых кром-

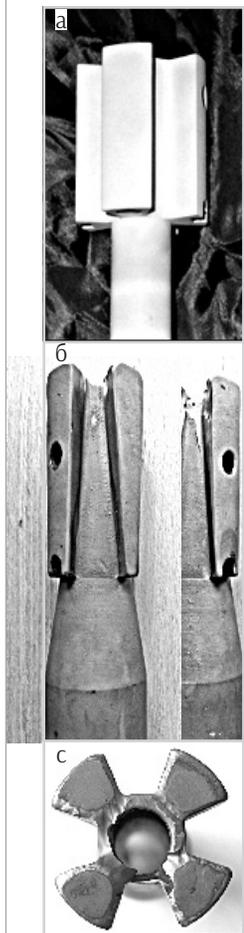


Рис. 5. Деталь геофизического прибора – центратор: а – после нанесения покрытий; б – центратор после 2 лет эксплуатации; с – торец центратора со следами износа

ках. При ударе крупных абразивных частиц об острые кромки образуются места смятия и разрушение покрытия на этих кромках. В дальнейшем наблюдается интенсивный износ поверхности, не защищенной покрытием (рис. 5, б, с). Можно отметить, что керамическое покрытие на поверхности центратора (рис. 5, б, с) не отслаивается и, практически, не изнашивается. Износ наблюдается только на острых кромках, которые подвергаются деформированию при ударе о крупные абразивные частицы. Промышленное испытание центраторов в течение двух лет подтвердили прочность и высокую износостойкость материала покрытия в условиях гидроабразивного износа. Работоспособность деталей с покрытием увеличилась более чем в два раза.

Проведенные исследования показали: Использование кумулятивно-детонационной технологии для напыления покрытий из порошка Al_2O_3 позволяет получать плотные, твердые, износостойкие, многофазные, керамические покрытия. Несмотря на высокую твердость, покрытие достаточно пластично и хорошо прилегает к подложке. Видимая граница прилегания керамического покрытия к подложке не имеет дефектов, то есть участков с ослабленными связями. Переходной слой «покрытие подложка» содержит и нанокристаллические интерметаллические фазы $TiAl$.

Импульсная кумулятивно-детонационная технология исключает нагрев изделия, не оказывает заметного влияния на изменение его структуры и позволяет наносить равномерные по толщине покрытия на локальные поверхности изделий, имеющих сложную конфигурацию и большие размеры.

Фазовый состав покрытия в основном представлен частицами $\theta-Al_2O_3$ и $\alpha-Al_2O_3$, в незначительном количестве присутствуют включения SiO_2 , $\gamma-Al_2O_3$ и аморфной фазы, состоящей из Al, O, Fe и Si.

Исследования износостойкости титановых образцов, при газоабразивном воздействии в потоке твердых частиц, показали значительное (более чем в 2 раза) повышение стойкости к износу образца с защитным керамическим покрытием по сравнению с образцом без покрытия.

Промышленные испытания деталей геофизического оборудования с керамическим покрытием подтвердили высокую прочность и износостойкость материала покрытия в условиях гидроабразивного изнашивания.

Показано, что керамическое покрытие из порошка Al_2O_3 , нанесенное с использованием кумулятивно-детонационной технологии, существенно увеличивают твердость и, соответственно, износостойкость поверхности титановых деталей (ОТ4св), эксплуатируемых в условиях гидро- и газоабразивного воздействия.

● #874



3. А. Сидлин. Производство электродов для ручной дуговой сварки. 2009. — 464 с.

Детально описаны все стадии технологического процесса производства металлических покрытых электродов для ручной дуговой сварки, применяемые материалы и оборудование. Даны теоретические основы процессов, протекающих как при изготовлении, так и при применении электродов. Особое внимание уделено вопросам обеспечения качества продукции.

Для инженерно-технического персонала, мастеров и рабочих электродных производств, может быть использована для индивидуальной подготовки и повышения квалификации.

С. Н. Жизняков, 3. А. Сидлин. Ручная дуговая сварка. Материалы. Оборудование. Технология. 2006. — 360 с.

Рассмотрены физико-металлургические процессы при ручной дуговой сварке покрытыми электродами. Даны характеристики и классификация электродов, представлена номенклатура промышленных марок, источники питания и другое оборудование. Изложены рекомендуемые технологии сварки сталей, чугуна и цветных металлов и их особенности. Рассмотрены дефекты сварных соединений и причины их образования, а также вопросы ремонтной сварки.

Рассчитана на инженерно-технических работников сварочного производства.



Г. И. Лащенко. Способы дуговой сварки стали плавящимся электродом. 2006. — 384 с.

Рассмотрены структурные схемы способов дуговой сварки сталей плавящимся электродом (ДСПЭ) и общие вопросы свариваемости сталей. Изложены современные представления об энергетической эффективности процесса, формировании швов, производительности и экологических показателях ДСПЭ. Приведены современные способы сварки с применением различных защитных сред, позволяющие регулировать тепловложение в свариваемое изделие, улучшающие формирование металла шва и повышающие производительность сварки. Приведены сведения о гибридных и комбинированных способах дуговой сварки плавящимся электродом.

Рассчитана на инженерно-технических работников, занятых в области сварочного производства.

Заказы направлять по адресу: 380036 РФ, г. Белгород, б-р Юности, 2, к. 317.

Тел./ф. (4722) 53-73-27; тел. (4722) 53-73-23; моб. тел. 8 (910) 736-26-79

Мозговой Виктор Федорович: e-mail: mozgovovjf@rambler.ru

Мозговая Татьяна Викторовна: e-mail: afina-bel@mail.ru

Сварка термостойких пластмасс. Терморезисторная сварка*

М. В. Юрженко, канд. физ.-мат. наук, Н. Г. Кораб, канд.тех.наук,
В. Ю. Кондратенко, В. В. Анистратенко, Институт электросварки им. Е. О. Патона НАНУ

До настоящего времени в Украине не проводились научно-технические работы по исследованию сварки термостойких термопластичных полимеров, таких как полиарилены. Данная работа посвящена изучению технологических особенностей терморезисторной сварки термостойких полимерных материалов на основе двух представителей класса полиариленов: полиэфиримиды (PEI) и полиэфирэфиркетона (PEEK), одних из наиболее перспективных и прогрессивных в использовании термопластов в современном авиастроении.

Сфера применения полимеров в качестве конструктивных материалов постоянно расширяется, они постепенно вытесняют традиционные металлы в строительстве, машиностроении и других отраслях промышленности. Время от времени появляются новые полимерные материалы с улучшенными эксплуатационными свойствами, соответствующие требованиям потребителей. Для повышения термостойкости полимерных материалов специально была разработана большая группа карбоциклических полимеров, так называемых полиариленов, термически устойчивых при температурах до 500 °С [1]. Термостойкие полимеры используются как самостоятельно, так и в качестве матриц для различных полимерных композитных материалов, стремительно вытесняя во многих областях традиционные композиты на основе реактопластов [2]. В частности, расширяется использование полимерных композитных материалов в аэрокосмической промышленности, что позволяет существенно уменьшить массу и стоимость летательных аппаратов [3].

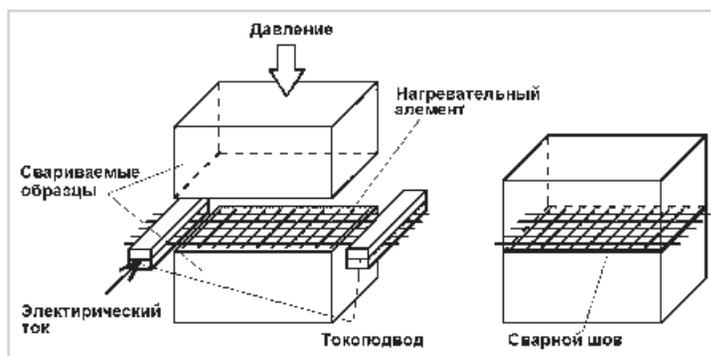


Рис. 1. Схема формирования сварного соединения при терморезисторной сварке с металлической сеткой в качестве закладных нагревательных элементов (ЗНЭ)

* Часть 1

Одними из наиболее перспективных и часто используемых в высокотехнологических отраслях промышленности являются термостойкие полиарилены, которые относятся к классу термопластов, детали из которых и композитов на их основе могут соединяться путем сварки. Для изделий, соединяемых по сложным поверхностям достаточно большой площади, наиболее технологичным является способ сварки закладным элементом или иными словами терморезисторной сварки. Для этого способа сварки первостепенное значение имеет конструкция и параметры закладного нагревательного элемента (ЗНЭ). В зарубежных работах отмечается, что в качестве нагревательного элемента может использоваться любой электропроводящий материал, но наибольшие преимущества имеет сетка из нержавеющей стали [4, 5].

Терморезисторную сварку полиариленов проводили на экспериментальной установке по схеме, представленной на рис. 1. Сваривали листовые полимерные материалы компании Zedex марок ZX-410 (на основе PEI) и ZX-324 (на основе PEEK). Производили сварку внахлест листовых образцов размером 25 на 100 мм и толщиной от 3 до 8 мм. Для этого образцы прижимали друг к другу с рабочим давлением ~5 МПа, при этом между свариваемыми образцами размещали закладной электрический нагревательный элемент, для питания которого использовали источник переменного тока сетевой частоты 50 Гц с регулируемыми диапазонами напряжения 1–50 В и силы тока 5–45 А. После завершения сварки и остывания ЗНЭ оставался внутри сварного соединения. Размеры ЗНЭ составляли, как правило, 25 на 60 мм, при этом рабочая поверхность, контактирующая с образцами, была размером 25 на 25 мм.

Для терморезисторной сварки в качестве ЗНЭ использовали тканые сетки из

нержавеющей стали, изготавливаемые по ГОСТ 3826 [6]. По своим характеристикам нержавеющая сталь обладает достаточно высоким удельным сопротивлением (порядка 0,7–0,8 Ом·мм²/м), что обеспечивает эффективное тепловыделение при прохождении электрического тока.

Проволочные тканые сетки полотняного переплетения с квадратными ячейками, согласно ГОСТ 3286, изготавливаются различных типоразмеров с градациями по диаметру проволоки и размером стороны единичной ячейки. Для определения оптимальных параметров ЗНЭ использовали 4 типоразмера сеток (рис. 2).

Все сетки изготовлены из высоколегированной стали 12Х18Н10Т. Наряду с геометрическими размерами, важными параметрами сеток являются удельное сопротивление и относительная площадь, занимаемая металлом в плоскости сетки. Основные параметры сеток приведены в табл. 1.

Общепринято, что основными параметрами режима терморезисторной сварки являются электрическое напряжение и ток, подаваемые на ЗНЭ, а также время прогрева. Обобщающим параметром считается удельная электрическая мощность процесса сварки, определяемая по формуле (1):

$$P_M = \frac{P_E}{S_E} \quad (1)$$

где P_M – удельная электрическая мощность, кВт/м²; P_E – мощность электрической цепи ЗНЭ, кВт; S_E – площадь ЗНЭ, м².

При всех проводимых сварочных работах, во избежание ошибок эксперимента и в дальнейших расчетах, поддерживали средний, согласно литературным данным [4], уровень удельной электрической мощности, который соответствует $P_M \approx 75$ кВт/м². При этом величины тока и напряжения для ЗНЭ из разных типов сеток менялись, что связано с их различными значениями удельного сопротивления. В процессе сварки также учитывали и компенсировали рост сопротивления закладного элемента на 20–25% при его нагревании.

Оптимальную величину времени прогрева при сварке определяли по появлению равномерного сварочного граты, который свидетельствует о достаточном проплавлении свариваемых поверхностей, на

боковых сторонах свариваемых образцов. Для примера, на рис. 3 представлены сечения сварных соединений для листов ZX-410 на основе РЕ1 толщиной 8 мм, полученных с использованием сеток **c** и **d** в качестве ЗНЭ.

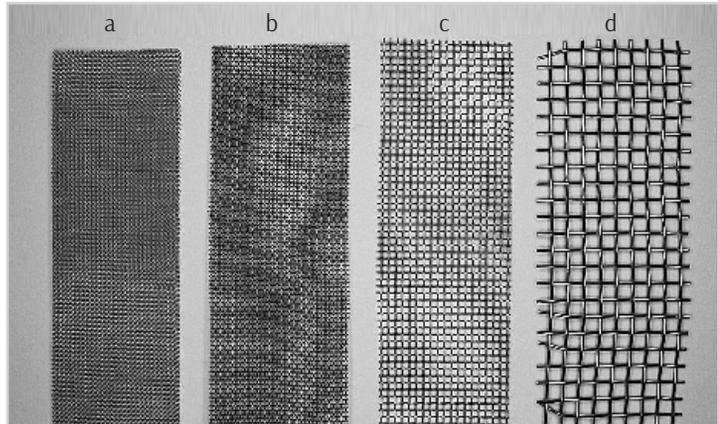


Рис. 2. Виды плетеных сеток из нержавеющей стали (ГОСТ 3286), которые были использованы в экспериментах в качестве ЗНЭ

Таблица 1. Основные параметры ЗНЭ – плетеных сеток из нержавеющей стали

Обозначения	a	b	c	d
Ширина ячейки, мм	0,25	0,45	0,8	2,0
Диаметр проволоки, мм	0,12	0,2	0,25	0,5
Сопротивление отрезка сетки 25x100 мм, Ом	0,16	0,091	0,1	0,043
Относительная площадь, занимаемая металлом, к общей площади сетки, %	64	62	47	40

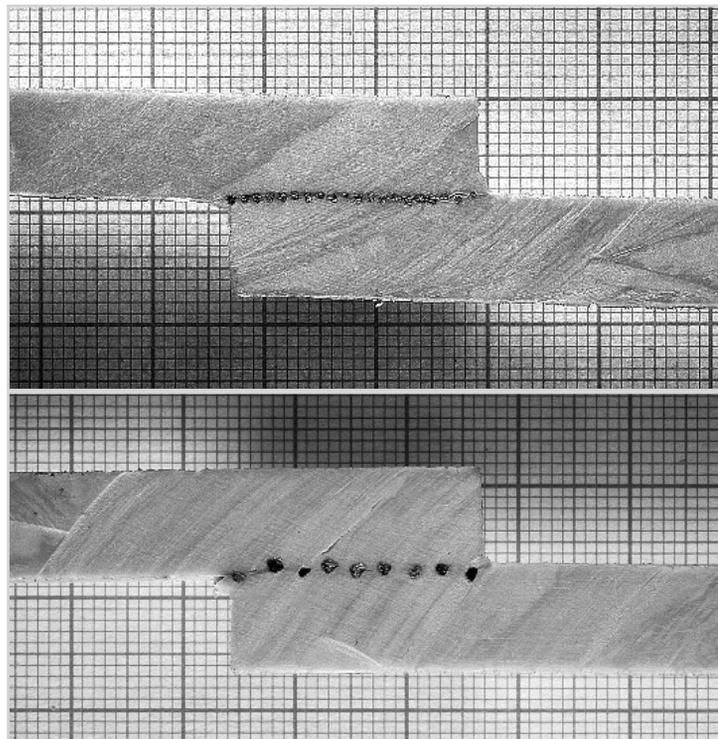


Рис. 3. Разрезы сварных соединений листов ZX-410 на основе РЕ1, полученные с использованием ЗНЭ на основе сеток типов **c** и **d**

В настоящее время нет специально разработанных методик определения прочности нахлесточных терморезисторных швов, поэтому механические испытания нахлесточных швов на растяжение проводили на разрывной машине FP-10 со скоростью 25 мм/мин при 20 °С, в соответствии с ГОСТ 14759 для клеевых соединений металлических листов. Разрушающее напряжение при сдвиге определяется по формуле (2):

$$P_p = \frac{\sigma_p}{S_c} \quad (2)$$

где P_p – разрушающее напряжение, МПа; σ_p – разрушающая нагрузка, Н; S_c – площадь сварного соединения, м².

В мировой практике аналогичные испытания проводят по стандарту ASTM D1002-10, определяя прочность на сдвиг LSS (lap shear strength).

Механические испытания показали, что при использовании ЗНЭ из сеток типов **a** и **b** сварное соединение не формируется должным образом, что связано с высокой вязкостью расплава полиариленов ($\eta \approx 10^3$ Па·с) и ограниченным его течением сквозь сетки с малым размером ячеек. Таким образом, наибольшей прочностью на сдвиг характеризуются сварные соединения, полученные с использованием ЗНЭ из сеток типов **c** и **d**, которые имеют меньшую величину относительной площади, занимаемой металлом в плоскости сетки (табл. 1). При этом выявлено, что сетка **c** является предпочтительной для соединения тонких листов, что связано с ее меньшей жесткостью и занимаемой площадью в сварном соединении.

Соединения, сваренные на оптимальных режимах, разрушаются, как правило, по основному материалу (рис. 4), то есть являются равнопрочными по отношению к основному материалу. Максимальная величина разрушающего напряжения при сдвиге или прочности на сдвиг (LSS) для сварных соединений, полученных с использованием ЗНЭ на основе сеток типов **c** и **d**, обоих материалов была на уровне 17–20 МПа. При этом для материала ZX-410 на основе PEI характерно относительно вязкое разруше-

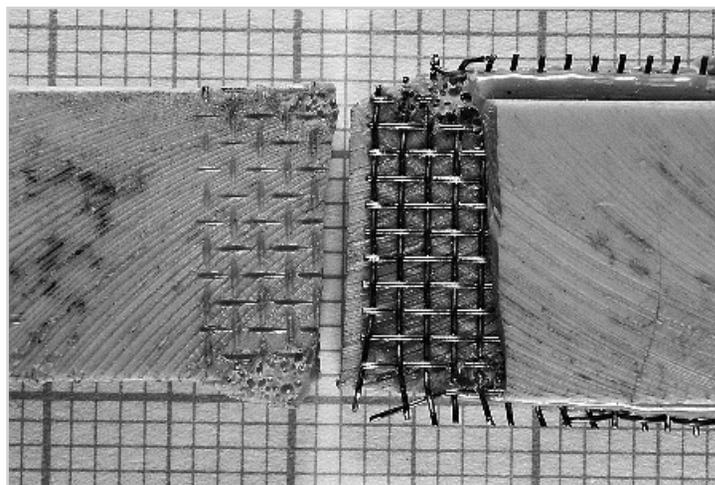


Рис. 4. Разрушенное сварное соединение образцов материала ZX-324 на основе PEEK после механических испытаний

ние с прочностью $\sigma_p \approx 104$ МПа и относительным удлинением $\epsilon_p \approx 32\%$ (по табличным данным эти величины составляют $\sigma_p \approx 101$ МПа и $\epsilon_p \approx 25\%$), а для ZX-324 на основе PEEK характерно хрупкое разрушение с прочностью $\sigma_p \approx 114$ МПа и относительным удлинением ϵ_p не больше 10% (по табличным данным эти величины составляют $\sigma_p \approx 110$ МПа и $\epsilon_p \approx 12\%$). Как видно из рис. 4, край сварного соединения, где под влиянием внешней среды ЗНЭ имеет пониженную температуру нагрева, выявляется проваренным недостаточно, что следует учитывать при расчете эффективной площади терморезисторного сварного соединения.

Таким образом, для термостойких полимерных материалов на основе полиэфиримида (PEI) и полиэфирэфиркетона (PEEK), которые относятся к такому классу полимеров как полиарилены, метод терморезисторной сварки внахлест является крайне перспективным и может быть эффективно применен в промышленных условиях при соединении деталей сложных форм, выполненных из подобных термостойких пластмасс и композитных материалов на их основе.

Продолжение в следующих номерах журнала

Список литературы

1. Михайлин Ю. А. Термоустойчивые полимеры и полимерные материалы. – СПб.: Профессия, 2006. – 624 с.
2. Михайлин Ю. А. Конструкционные полимерные композиционные материалы: 2-е изд. «Научные основы и технологии». – СПб.: 2013. – 822 с.
3. Мартовский С. В., Ощепков М. Ю. Кто поднимет композиты в небо? – COMPOSITE 21 Century, 2011. – № 5. – С. 22–31.
4. Stavrov D., Bersee H.E.N. Resistance welding of thermoplastic composites – an overview. – Composites. Part A. – 2005. – Vol. 36, № 1. – P. 39–54.
5. Dube M., Hubert P., Gallet J., Stavrov D., Bersee H.E.N., Yousefpour A. Metal mesh heating element size effect in resistance welding of thermoplastic composites. – J. of Composite Materials. – 2012. – Vol. 46, № 8. – P. 911–919.
6. ГОСТ 3826-82. Сетки проволочные тканые с квадратными ячейками. Технические условия. ● #875

Ультразвуковые технологии в сварочном производстве*

Г. И. Лашенко, канд. техн. наук, НТК «Институт электросварки им. Е. О. Патона»

Электроакустическое напыление. Электроакустическое напыление покрытий (ЭЛАН) является разновидностью электроискрового легирования. Процесс основан на совместном использовании энергии электроискрового разряда и ультразвука.

При электроакустическом напылении происходит синхронное импульсное воздействие мощных продольно-крутильных ультразвуковых колебаний (УЗК) и низковольтного (напряжение 10–40 В) электрического разряда на обрабатываемый материал. При этом ультразвуковые колебания создают в зоне контакта электрода с деталью локальное давление до 10 ГПа со скоростью приложения до 20 ГПа/с.

Ультразвуковая колебательная система является резонансной. В используемом диапазоне частот системы находится несколько резонансов, т. е. за счет изменения частоты ультразвукового генератора можно варьировать амплитуду механических колебаний электрода.

Схема установки для электроакустического напыления показана на рис. 31. В начальный период работы установки высокочастотный сигнал с ультразвукового генератора поступает на магнитоэлектрический преобразователь акустической системы, который совершает колебания с частотой этого сигнала. Волновод с зафиксированным на конце электродом, совершающим продольно-крутильные колебания, прикреплен к акустической системе. Система управления посредством датчика обратной связи подает на электрод на определенном расстоянии от поверхности упрочняемой детали разрядный импульс. Электрод, как правило, подключен к положительному полюсу источника тока, а упрочняемая деталь — к отрицательному.

В момент подачи импульса поверхность электрода нагревается выше температуры плавления и образуется частица электрода, находящаяся в квазижидкой фазе. Эта частица под воздействием электрического поля движется по направлению к подложке и в момент отрыва от электрода взаимодействует с окружающей средой на активной площади S_0 .

Продольно-крутильные ультразвуковые колебания измельчают частицу электрода, в результате чего она распыляется, увеличивая тем самым площадь S_0 .

По истечении первого полупериода колебаний вещество электрода переносится на поверхность упрочняемой детали. Затем электрод ударяется о поверхность детали.

Вследствие продольно-крутильных колебаний удар сопровождается сдвигом, что обуславливает высокочастотную микропластическую деформацию как напыленного слоя, так и подложки детали.

Нанесение единичной порции расплава при электроакустической наплавке длится менее 10 мс. За это время происходит разогрев, расплавление и затверждение наносимого материала. Поскольку толщина слоя расплава на поверхности обычно массивной упрочняемой детали или инструмента при этом не превышает 50 мкм, скорость охлаждения его больше 10^5 – 10^6 К/с.

Большие скорости охлаждения достигаются в результате высоких степеней переохлаждения, вызванных незначительностью объема материала, расплавленного и переносимого при единичном искровом разряде, по сравнению с объемом основы. Это позволяет использовать электроакустическую наплавку для получения слоев с микроструктурными метастабильными фазами и аморфной структурой.

Предполагается, что большая скорость охлаждения при практически одновременной интенсивной пластической деформации должна способствовать образованию ультрамелкодисперсной фрагментарной, в том числе и аморфной, а возможно, и на-

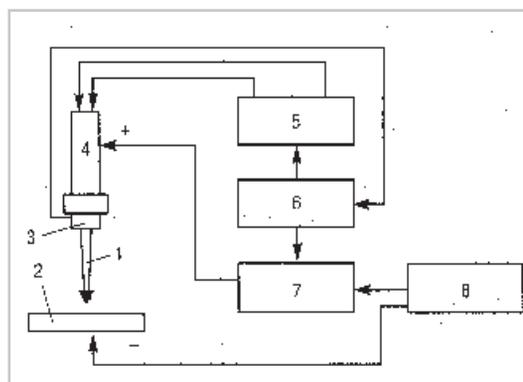


Рис. 31. Структурная схема установки: 1 – волновод с электродом; 2 – упрочняемая деталь; 3 – датчик обратной связи; 4 – акустическая система; 5 – ультразвуковой генератор; 6 – система управления; 7 – электронный ключ; 8 – источник питания

* Продолжение. Начало в № 5, 6 – 2014, № 1, 2, 3 – 2015.

нокристаллической структуры материала.

Для электроакустической наплавки используют электроды из твердых сплавов марок ТК и ВК, а также смеси самофлюсующихся сплавов на основе никеля и железа.

Результаты триботехнических испытаний показывают, что аморфизированные покрытия из сплавов на основе железа и никеля по износостойкости существенно превосходят конструкционные и инструментальные стали после термической и термомеханической обработки.

Ультразвуковая очистка. Среди процессов, протекающих под действием ультразвука в жидкостях, очистка изделий от различных загрязнений получила наибольшее распространение в промышленности.

Разрушение поверхностных пленок в жидкости под действием ультразвука происходит благодаря кавитации и акустическим течениям. Интенсивность кавитации, скорость и характер акустических течений, величина радиационного давления, амплитуда колебаний самой детали зависят от частоты и интенсивности звукового поля, физических свойств жидкости и в особенности — от ее температуры. Разрушение, отделение и растворение пленки загрязнений при ультразвуковой очистке происходит благодаря совместному действию химически активной среды и факторов, возникающих в жидкости вследствие наложения акустического поля.

В обобщенном виде влияние различных факторов на разрушение пленок ультразвуковой очисткой показано в виде схемы на рис. 32. Направление стрелок на схеме показывает, каким образом каждый фактор способствует разрушению поверхностных пленок.

Под действием ультразвука на жидкость с интенсивностью выше пороговой в ней возникает эффект кавитации (образование и взрыв множества парогазовых пузырьков). При пульсациях пузырьков на пленку загрязнений действуют динамические нагрузки.

Кавитация производит микроударное разрушение поверхностной пленки. Микроударные нагрузки характеризуются резким возрастанием давлений до значительной величины, за которой следует столь же быстрое уменьшение нагрузки.

Распределение напряжений, вызванных такими нагрузками, отличается локальностью и сильной неравномерностью, что приводит к появлению в пленке загрязнений трещин, а также следов эрозии на поверхности в виде точечных кратеров.

Разрушение пленок благодаря кавитации происходит следующим образом: пульсирующий пузырек «прилипает» к поверхности изделия и к внутренней поверхности отслоившейся пленки, как это показано на рис. 33, а. При интенсивных пульсациях пузырька на пленку начинают действовать силы, отрывающие ее от поверхности пленки. Если силы сцепления пленки с поверхностью превосходят прочность самой пленки, то свободный кусочек ее отрывается (рис. 33, б). Если же прочность пленки превосходит силы сцепления, то пленка отслаивается от поверхности.

При удалении тонких пленок со слабой адгезией их разрушение сопровождается ударами струек жидкости по очищаемой поверхности при делении крупных пузырьков на более мелкие.

При удалении жировых загрязнений в ультразвуковом поле активизируется эмульгирование. При колебаниях пленки, состоящей из мелких капелек воды и жира, а также мельчайших газовых пузырьков, последние постепенно вытесняются к границе: эмульсия — рабочая среда — очищаемая поверхность. Вблизи поверхности капли газовые полости при пульсациях создают особо ин-

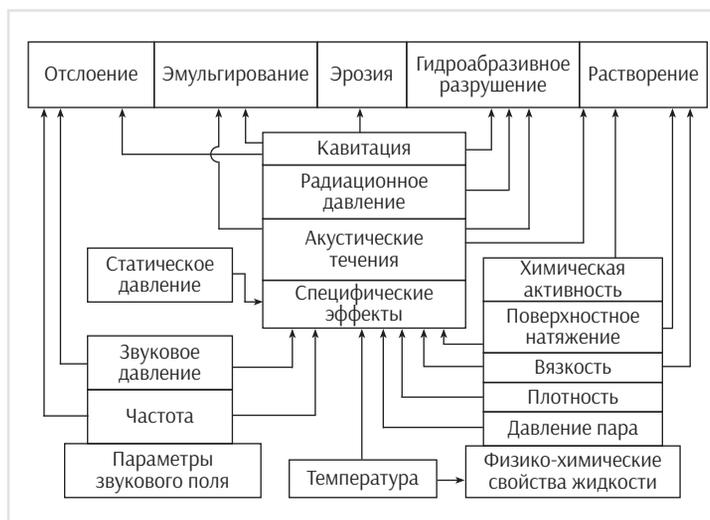


Рис. 32. Механизм разрушения поверхностных пленок в ультразвуковом поле

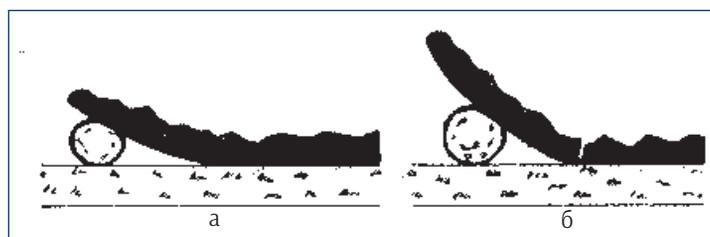
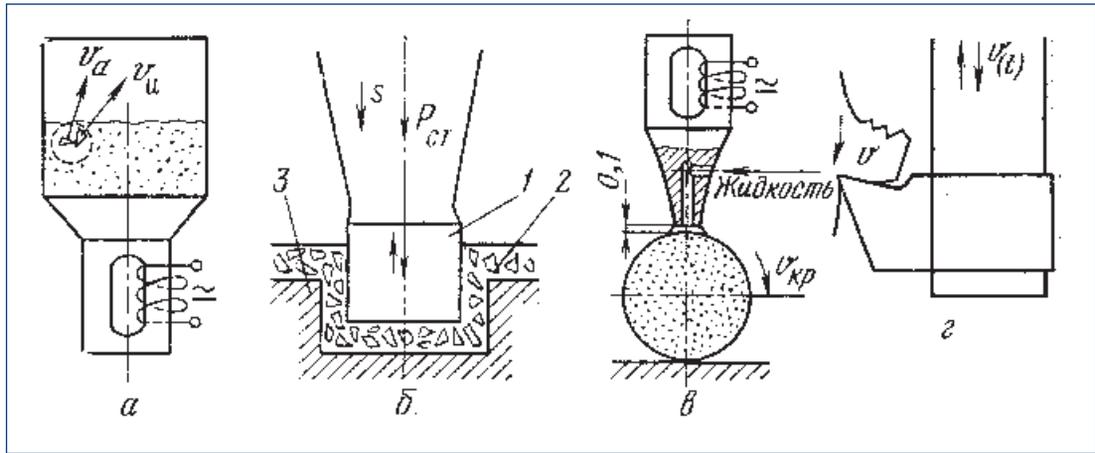


Рис. 33. Схема отслоения пленки загрязнений при пульсациях кавитационного пузырька: а — начальная фаза отслоения; б — откалывание кусочков пленки

Рис. 34. Принципиальные схемы ультразвуковых методов механической обработки



тенсивные фонтанчики брызг, что способствует образованию жировой эмульсии в воде.

По мере проникновения водяных капель в толщу жидкости существенно изменяются физико-механические свойства жировой пленки и уменьшается прочность ее сцепления с поверхностью, что облегчает удаление пленки.

Для очистных установок, работающих при атмосферном давлении, применяют следующие способы очистки:

- погружение;
- непрерывно-последовательный способ;
- введение специальных излучателей в зону обработки;
- контактный способ.

Погружение применяют для очистки мелких деталей, размер которых много меньше или соизмерим с размерами излучателя. Детали погружают в ванну в сетчатых корзинах, которые устанавливают как можно ближе к поверхности излучателя.

При очистке способом погружения необходимо учитывать, что любая вводимая в область кавитации перегородка, даже если ее толщина $\delta \ll \lambda/2$, перекрывающая полностью или частично поверхность излучателя, при нормальном атмосферном давлении сильно ослабляет ультразвуковое поле за перегородкой.

Очистку непрерывно-последовательным способом осуществляют в двух вариантах:

- блок с преобразователем перемещают относительно деталей, погруженных в ванну;
- деталь перемещают относительно размещенного в ультразвуковой ванне блока с преобразователями.

Для очистки металлургического полуфабриката (ленты, полосы, листы, проволока), когда имеются транспортирующие устройства, применяют второй вариант. Этот вариант может обеспечить высокое качество очистки только тогда, когда все точки поверхности изделия при ее относительном перемещении через зону интенсивной кавитации находятся примерно в одинаковых условиях.

Способ очистки введением излучателей в зону обработки эффективен для труднодоступных мест, глухих отверстий, каналов. Излучателем служит изгибно колеблющаяся

трубка, диаметр которой выбирается таким, чтобы зазор между стенкой очищаемого отверстия и наружной стенкой трубы не превышал 3–5 мм. Преимуществом изгибно колеблющихся излучателей является возможность их выполнения большой длины (до 10–20 длин волн изгибных колебаний трубы).

Для очистки контактным способом ультразвуковые колебания создают в изделии путем акустического контакта между преобразователем и деталью. Деталь становится вторичным излучателем, и очистка поверхности происходит не только за счет специфических эффектов, возникающих в жидкости при распространении звуковой волны, но и за счет изгибных колебаний самой детали, способствующих отслоению пленки загрязнений от ее поверхности.

Контактный способ используют для очистки внутренних полостей изделий сложного профиля с толщиной стенки не более 2 мм.

Повышение гидростатического давления P_0 по отношению к атмосферному P_a позволяет коренным образом изменить распределение областей кавитации в объеме жидкости. Изменяя P_0/P_a в определенных пределах, можно регулировать эрозионную активность области кавитации. Принципиально ультразвуковыми установками, работающими под повышенным давлением, можно удалять любые загрязнения, прочность которых ниже прочности очищаемого изделия.

Изменяя прочность жидкости введением пузырьков газа, можно создавать развитую область кавитации в любом участке рабочего объема и очищать изделия больших габаритов.

При повышенном гидростатическом давлении ультразвуковая очистка всегда производится способом погружения при неподвижном креплении источника колебаний и очищаемого изделия. Изменения областей кавитации осуществляют направленной подачей пузырьков газа к определенным участкам поверхности изделия, а регулирование эрозионной активности — изменением гидростатического давления в рабочем объеме.

Загрязнения на поверхности деталей, как правило, многокомпонентны и могут содержать растворимые и нерастворимые вещества. Ультразвук же создает эмульгаторы из любых компонентов, т.е. переводит их в моющую среду и вместе с ней удаляет их с поверхности изделий. Чтобы ввести ультразвуковые колебания в систему очистки, необходим ультразвуковой генератор, преобразователь электрической энергии генератора в ультразвуковое излучение и измеритель акустической мощности.

Необходимо отметить, что масложировые загрязнения, остатки притирочной пасты, остатки старой краски, эксплуатационные и другие сложные загрязнения не могут быть полностью удалены без применения чистящих химических реагентов даже в ультразвуковом поле. Поэтому, как правило, для выполнения ультразвуковой очистки необходимо подобрать химические реагенты (обычно растворимые в воде). Современный арсенал водорастворимых моющих средств позволяет решить практически весь спектр технологических задач, связанных с очисткой разнообразных материалов.

Ультразвук широко используют для очистки стальной ленты, фильтров, форсунок, алюминиевой и медной проволоки, кабеля и др. Ультразвуковая очистка весьма эффективна при ремонте, связанном с нанесением газотермических покрытий (электродуговое, плазменное, газовое, детонационное напыление) на детали различного назначения (гильзы, гидроцилиндры, поршни, коленчатые валы и др.). Ультразвук используют также для очистки стальной проволоки от металлической пыли, мыльной обмазки, графита при изготовлении сварочных электродов и перед нанесением медного покрытия. Ультразвуковую очистку применяют для очист-

ки стальной ленты при производстве порошковой проволоки, медной проволоки, проволоки из редких и благородных металлов, осветления алюминиевой проволоки и медного кабеля, а также других подобных изделий.

Ультразвуковая резка. Способность ультразвуковых колебаний разрушать материалы используют при разработке технологии ультразвуковой резки.

В промышленности применяют несколько способов размерной обработки, связанной в той или иной степени с резанием (рис. 34):

- снятие заусенцев с мелких деталей свободно направленным абразивом (рис. 34, а);
- очистку и смазку рабочей поверхности шлифовального круга в процессе его работы (рис. 34, в);
- сообщение вынужденных ультразвуковых колебаний малой амплитуды режущим инструментам (металлическим и абразивным) для интенсификации процессов точения и шлифования (рис. 34, г);
- ультразвуковую резку деталей из хрупких материалов абразивными зёрнами, получающими энергию от специального инструмента (рис. 34, б);
- ультразвуковую резку полимерных материалов с помощью специального инструмента.

Резку хрупких материалов (рис. 34, б) выполняют следующим образом: инструмент 1 совершает ультразвуковые колебания, а в рабочую зону подают взвешенные в воде или глицерине зёрна абразива (суспензию) 2. Инструмент периодически ударяет по зёрнам абразива и скалывает небольшие частицы материала обрабатываемого изделия 3. При этом происходят два процесса. Первый — ударное внедрение абразивных зёрен, вызывающее скалывание частиц обрабатываемого материала (стекла, кварца, керамики, ситаллов, рубина, германия, кремния и др.). Второй — циркуляция в рабочей зоне, в результате которой происходит унос сколотых частиц и смена абразива.

Производительность процесса зависит от физико-химических свойств обрабатываемых материалов, амплитуды колебаний, зернистости абразива и нагрузки $P_{ст}$. На станках средней мощности производительность достигает 3000–5000 м³/мин. Лезвие инструмента рекомендуют изготавливать из твёрдого сплава.

Для резки используют механические ультразвуковые колебания частотой 20–50 кГц и амплитудой 6–80 мкм.

При резке мягких полимерных материалов суспензию не применяют.

Способ ультразвуковой резки тонколистовых материалов превосходит другие способы резки по точности и чистоте реза при малой его ширине.

Для резки пластмасс толщиной 3 мм при скорости 10 м/мин или толщиной 2 мм при скорости 20 м/мин достаточно иметь выходную мощность ультразвуковых колебаний 70 Вт.



Если у Вас возникли вопросы по технологии сварки, организации рабочих мест сварщиков, правильному выбору сварочных материалов и оборудования, Вы можете отправить письмо в редакцию журнала по адресу: 03150, Киев, а/я 52 или позвонить по телефону +38 (044) 200 80 88. На Ваши вопросы ответит кандидат технических наук, Международный инженер-сварщик (IWE) Юрий Владимирович ДЕМЧЕНКО.

Техника выполнения сварных швов*

Сварка торцевого соединения в нижнем положении. Торцевые соединения широко применяют в конструкциях сосудов, не подвергаемых воздействию высокого давления. Торцевые соединения — это очень экономичные соединения, но они не выдерживают значительных растягивающих или изгибающих нагрузок. Для выполнения данного соединения не требуется много электродов, поскольку доля наплавленного металла в металле сварного шва мала. Сварка торцевого соединения не представляет каких-либо затруднений и может выполняться в широком диапазоне сварочных режимов, как на прямой, так и на обратной полярности.

Во время сварки для полного охвата всей поверхности соединения рекомендуется производить небольшие поперечные колебания электрода. Однако следует помнить об опасности увлечения такими колебаниями. При излишне широких колебаниях электрода металл начнет свешиваться с краев соединения. Следует быть внимательным при расплавлении обеих кромок и при обеспечении хорошего проплавления.

Сварка стыкового соединения без скоса кромок в нижнем положении. Данный тип сварного соединения широко используют в промышленности для конструкций обычного назначения. При двухсторонней сварке металла, толщина которого не превышает 6 мм, данное соединение будет весьма прочным. Однако, как правило, такие соединения свариваются только с одной стороны. В этом случае прочность будет определяться глубиной проплавления, которая, в свою очередь, зависит от диаметра применяемых электродов, силы сварочного тока, величины зазора между деталями, а также от толщины свариваемых деталей.

При односторонней сварке получение полного проплавления без зазора между свариваемыми кромками для металла толщиной свыше 5 мм весьма проблематично.

Сварку стыкового соединения без скоса кромок для обеспечения повышенного тепловложения выполняют на обратной полярности. При сварке необходимо обеспечивать возвратно-поступательные перемещения электрода вдоль оси шва. Это будет приводить к предварительному подогреву металла перед сварным швом, сведет к минимуму риск получения прожога и обеспечит вытеснение расплавленного шлака на поверхность сварочной ванны, что исключит вероятность образования неметаллических шлаковых включений в металле сварного шва.

В процессе сварки особенно важно поддерживать постоянную скорость и равномерность перемещения электрода вдоль оси шва, а также величину зазора между электродом и изделием (длину дуги). При слишком высокой скорости перемещения электрода шов получается узкий, образуются подрезы. При слишком малой скорости сварки сварочная ванна разогревается до температуры, при которой возможен прожог.

Слишком длинная дуга приводит к ухудшению внешнего вида шва, к ухудшению проплавления, к избыточному разбрызгиванию и низким показателям механических свойств металла сварного шва.

Сварка в нижнем положении таврового соединения (сварка «в лодочку») однопроходным угловым швом. При образовании углового шва во избежание непровара свариваемые поверхности наклоняют к горизонтальной плоскости под углом 45° — сварка «в лодочку» (рис. 10, а), при наклоне под углом 30° или 60° — сварка в несимметричную «лодочку» (рис. 10, б). Сварку проводят на повышенных значениях сварочного тока,

Продолжение. Начало в № 1, 2, 3 — 2015

как на прямой, так и на обратной полярности тока. Сварку на обратной полярности выполняют короткой дугой, при этом возможно появление подрезов. Положение электрода при сварке должно соответствовать положению, изображенному на рис. 10, в.

При начале процесса сварки электрод должен быть выведен на кромку свариваемой пластины. После поджога кромки пластины растянутой дугой начинается наложение сварного шва требуемой ширины и глубины проплавления. При этом производят небольшие возвратно-поступательные перемещения электродом в направлении оси сварного шва. Это обеспечивает предварительный поджог корневой части сварного шва и предотвращает подтекание расплавленного шлака перед головной частью сварочной ванны.

Электрод должен направляться непосредственно в корень сварного шва, нельзя допускать, чтобы сварочная дуга вышла на поверхность пластины за пределами области формирования сварного шва. Не допускается наплавка слишком большого количества металла за один проход.

Сварка в нижнем положении таврового соединения (сварка «в лодочку») многопроходным угловым швом. Очень часто при сварке таврового соединения в нижнем положении необходимо применять многопроходную сварку. Однопроходные угловые швы должны иметь катеты, которые превышают диаметр используемого электрода не более чем на 1,5–3,0 мм. При многопроходной сварке угловых швов число слоев определяют исходя из диаметра электрода, при этом толщина каждого слоя не должна превышать $(0,8-1,2)d$.

Поскольку тавровое соединение в нижнем положении образует кромки, подобно стыковому соединению со скосом кромок, сварку можно выполнять с использованием техники с поперечными колебаниями электрода, при этом ширина шва не должна превышать $(1,5-5)d$. Если слой сварного шва превышает допустимую ширину шва, то наплавку каждого слоя производят необходимым количеством валиков.

При сварке данного соединения первый проход выполняют электродом толщиной 4–6 мм без поперечных колебаний. Последующие проходы выполняют электродами меньшего диаметра. При сварке этих про-

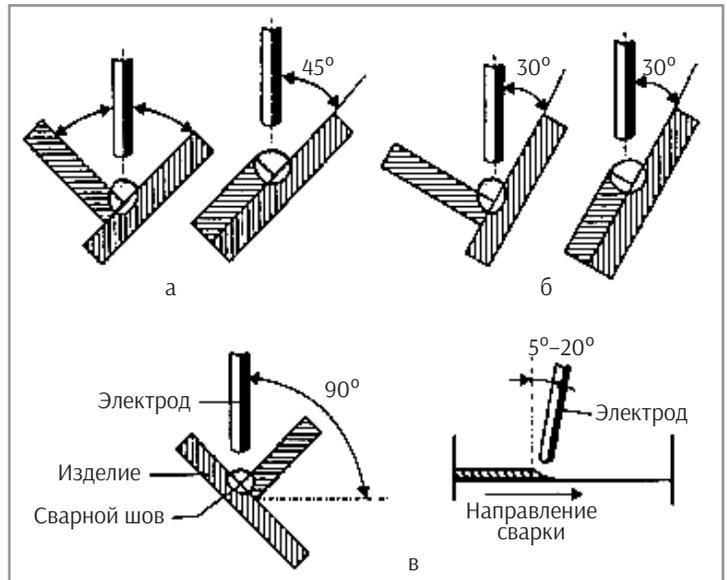


Рис. 10. Положение электрода при сварке «в лодочку»: а – сварка в симметричную «лодочку»; б – сварка в несимметричную «лодочку»; в – пространственное положение электрода

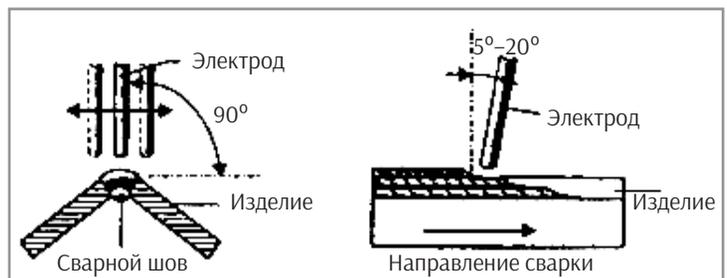


Рис. 11. Положение электрода при сварке углового соединения с наружным углом в нижнем положении

ходов необходимо применять поперечные колебания электрода, амплитуда колебаний электрода не должна превышать допустимой ширины шва.

При сварке на обратной полярности поддерживается несколько меньшая длина дуги, чем на прямой полярности. При этом необходимо тщательно контролировать процесс сварки, с тем, чтобы избежать появления возможных подрезов. Для этого можно применять задержки электрода в крайних точках амплитуды поперечных колебаний электрода при одновременном тщательном контроле ширины сварного шва и амплитуды поперечных колебаний электрода.

Перед наплавкой каждого слоя или валика необходимо тщательно очищать от шлака поверхность сварного шва, в противном случае неизбежно появление шлаковых включений. В начале и при возобновлении сварки необходимо тщательно заваривать кратеры сварных валиков.

● #877

Обоснование экономической эффективности применения различных способов сварки и сталей для ремонта кожуха доменной печи № 4 ПАО «МК «Азовсталь»

А. Г. Синеок, Ю. В. Демченко, канд. техн. наук, В. Н. Проскудин, канд. техн. наук,
В. Г. Тюкалов, А. А. Москаленко, Институт электросварки им. Е. О. Патона НАНУ

В практике строительства и ремонта металлургических объектов, в том числе и доменных печей, преимущественно используется ручная и механизированная дуговая сварка в среде защитных газов, реже электрошлаковая сварка. Экономической эффективности, как конечному результату технико-экономического анализа производственного процесса, до настоящего времени уделялось мало внимания. Сегодня тема экономической эффективности весьма актуальна, так как решение вопросов о снижении сроков и стоимости строительства или ремонтов наиболее важны при реализации проектов. Не является исключением и проект, разработанный корпорацией «Промстальконструкция» 905-12КМ для ремонта второго разряда кожуха доменной печи № 4 ПАО «МК «Азовсталь».

Исходя из конструкционных особенностей кожуха доменной печи (ДП) № 4 ПАО «МК «Азовсталь», применяемой марки стали — 09Г2С, при ручной дуговой сварке (РДС) во всех пространственных положениях используются электроды УОНИ-13/55 или FOX EV 50. Для ручной сварки горизонтальных швов на вертикальной плоскости могут применяться высокопроизводительные электроды марки АНО-30. При механизированной сварке в среде защитных газов во всех пространственных положениях используются проволока Св-08Г2С и ряд ее аналогов, а при электрошлаковой сварке (ЭШС) вертикальных швов — проволока Св-10Г2 или Св-08ГА в сочетании с флюсом АН-8. Указанные материалы обеспечивают механические свойства металла сварного соединения на уровне требований СНиП III-18-75.

Характерной особенностью, как дуговых способов сварки, так и ЭШС является то, что объем сварочных работ определяется массой наплавленного металла, а себестоимость единицы работы и удельные капитальные вложения рассчитываются на 1 кг такого металла. В расчетах экономической эффективности в качестве исходных данных используются показатели технологических режимов сварки и нормативные данные. Для обоснования экономической эффективности разных способов сварки авторами произведен расчет технологической себестоимости 1 кг металла, наплавленного электродами вышеупомянутых марок для ручной электродуговой сварки, и проволоками для полуавтоматической сварки и ЭШС. Оценка экономической эффективности сравни-

ваемых в статье способов сварки определяется путем сопоставления их себестоимости. Она рассчитывается по сумме изменяющихся затрат на: сварочные материалы, основную и дополнительную заработную плату, электроэнергию, амортизацию, содержание и эксплуатацию сварочного оборудования.

Стоимость сварочных материалов для дуговых способов сварки, расходуемых на наплавку 1 кг материала (P_M), можно определить по формуле:

$$P_M = k_p \cdot C_m, \text{ грн.}, \quad (1)$$

где C_m — рыночная стоимость 1 кг сварочного материала, грн., k_p — коэффициент расхода.

Стоимость углекислого газа рассчитывают, исходя из его расхода для принятых режимов сварки.

Время T необходимое для наплавки 1 кг металла определяется по формуле:

$$T = 1000 / I_{св} \cdot \alpha_n \cdot k_r, \text{ ч}, \quad (2)$$

где α_n — коэффициент наплавки, г/а · ч; k_r — коэффициент, учитывающий время горения дуги в общем времени сварки.

Зарботная плата (ЗП) рассчитывается следующим образом:

$$P_z = P_r \cdot T, \text{ грн.}, \quad (3)$$

где P_r — тарифная часовая ставка сварщика.

Дополнительная зарботная ставка принимается равной 10% основной ЗП, отчисление на социальное страхование — 6,1%.

Затраты на электроэнергию $P_э$ — для наплавки 1 кг металла будут составлять:

$$P_э = U_d \cdot 0,73 / \alpha_n \cdot \eta \cdot k_r, \text{ грн.}, \quad (4)$$

где η — коэффициент полезного действия установки; 0,73 — стоимость 1 кВт/ч электроэнергии, грн.

Амортизационные отчисления P_A на оборудование:

$$P_A = P_o \cdot T \cdot 0,32 / T_\phi \cdot k_n, \text{ грн.}, \quad (5)$$

где P_o — стоимость сварочного оборудования, грн.; T_ϕ — годовой плановый фонд времени эксплуатации оборудования, ч;

k_n — коэффициент использования планового фонда времени эксплуатации оборудования, учитывающий его простои; 0,32 — норма амортизационных отчислений.

Расходы на текущий ремонт и обслуживание оборудования $P_{рем}$, отнесенные к 1 кг наплавленного металла:

$$P_{рем} = P_o \cdot T \cdot 0,2 / T_{ф} \cdot k_n, \text{ грн.}, \quad (6)$$

где 0,2 — норма отчислений.

При ЭШС расходы на сварочные материалы, приходящиеся на 1 кг наплавленного металла (C_M), определяются следующим образом:

$$C_M = q_M \cdot Ц_M, \quad (7)$$

где q_M — расход сварочных материалов; $Ц_M$ — оптовая цена сварочных материалов.

Расход электроэнергии при ЭШС на 1 кг наплавленного металла:

$$P_{э} = U_c / \eta \cdot \alpha_n, \text{ кВт}, \quad (8)$$

Затраты на электроэнергию для наплавки 1 кг металла шва:

$$C_{э} = P_{э} \cdot Ц_{э}, \text{ грн.}, \quad (9)$$

где $Ц_{э}$ — стоимость электроэнергии по заводским данным.

Норма амортизационных отчислений для ЭШС составляет 27%.

Расчеты произведены в соответствии с методикой разработанной в ИЭС им. Е. О. Патона и представлены в табл. 1.

Как видно из табл. 1, наибольшая доля затрат при РДС приходится на ЗП, что связано с низкой производительностью способа. При механизированных способах сварки значительную долю себестоимости наплавленного металла составляют расходы на сварочные материалы. Снижение себестоимости сварочных работ и уменьшение затрат на ЗП достигается за счет высокой производительности при ЭШС, полуавтоматической сварке, а при РДС за счет использования электродов АНО-30. Выполненные расчеты себестоимости на 1 кг наплавленного металла дают представление об эффективности применения отдельных способов сварки и сварочных материалов.

Способ ЭШС разработан в ИЭС им. Е. О. Патона в 1950-х годах в связи с необходимостью механизации сварочных работ на монтаже, повышения качества и производительности сварки вертикальных швов при строительстве и ремонте кожухов доменных печей и других толстостенных металлургических сосудов. Изучение отечественного и зарубежного опыта применения ЭШС по-

казало ее существенные технико-экономические преимущества перед РДС и механизированной сваркой при соединении толщин более 40 мм и длине шва более 2 м:

1. ЭШС характеризуется высокой устойчивостью процесса и обеспечивает высокое качество сварного соединения, практически исключает влияние человеческого фактора на качество и производительность.

2. Отсутствуют повышенные требования к подготовке кромок. Разделка без скоса кромок может быть осуществлена в монтажных условиях.

3. Поскольку ЭШС является способом однопроходной сварки вертикальных стыков, это обеспечивает получение минимальных поперечных угловых деформаций стыкового сварного шва.

4. Современные технологии ЭШС позволяют получать соединения требуемого качества из конструкционных низколегированных сталей, в том числе на уровне СНиП III-18-15 ($KCU_{+20} \text{ } ^\circ C \geq 60 \text{ Дж/см}^2$), при использовании стандартных сварочных материалов сравнительно низкой стоимости.

5. ЭШС характеризуется высокой производительностью и экономичностью при выполнении протяженных вертикальных стыковых соединений металла толщиной более 40 мм.

6. Аппаратура для ЭШС относится к оборудованию средней степени сложности и весьма надежна в работе.

7. Применение ЭШС позволяет перейти к промышленным методам строительства и капитального ремонта металлургических агрегатов. Значительно сокращаются сроки выполнения строительных и ремонтных работ.

Для осуществления капитального ремонта второго разряда кожуха ДП № 4 объемом 2002 м³ ПАО «МК» Азовсталь» корпорацией «Промстальконструкция» предложен крупноблочный вариант раскроя кожуха (длина вертикальных швов 14 м, толщина соединяемых элементов 45 мм). Мы видим, что применение ЭШС в данном случае наиболее целесообразно по технико-экономическим показателям.

Таблица 1. Сравнительная оценка технологической себестоимости 1 кг наплавленного металла при различных способах сварки

Показатели	РДС покрытыми электродами			Полуавтоматическая сварка в среде защитных газов	Электрошлаковая сварка
	УОНИ-13/55	АНО-30	FOX EV 50		
Сила тока, $I_{св}$, А	180	180	180	350	800
Напряжение дуги, U_d , В	24	24	24	28	44
Коэффициент наплавки, α_n , г/а · ч	9	12,5	9	18	28
Заработная плата с отчислениями, $P_з$, грн.	19,39	13,96	19,39	4,99	0,77
Затраты на материалы, P_M , грн.	33,05	45,36	67,45	21,59	20,5
Затраты на электроэнергию, $P_э$, грн.	4,72	3,4	4,72	2,75	1,53
Амортизационные отчисления, P_A , грн.	2,5	1,8	2,5	1,48	2,48
Расходы по текущему ремонту и обслуж.оборуд., $P_{рем}$, грн.	1,6	1,15	1,6	0,95	1,84
Итого: себестоимость по статьям затрат, грн.	61,25	65,67	95,65	31,76	27,12

Таблица 2. Расчет трудозатрат на выполнение ЭШС

Расчетная скорость сварки, м/ч	3,5
Основное (машинное) время сварки одного стыка, ч	4
Монтаж и настройка аппарата (типа АД-381Ш), ч	2
Демонтаж аппарата, ч	0,5
Итого: затраты времени на ЭШС одного стыка, ч	6,5
Количество сварщиков – операторов, чел.	4
Трудозатраты (6,5 × 4), чел.-ч	26
Трудозатраты на 1 м шва (26: 14), чел.-ч/м	1,86

Расчет трудозатрат на выполнение ЭШС, в условиях монтажа, вертикального сварного соединения С1 – ГОСТ 15164-78 металла толщиной 45 мм и длиной 14 м представлен в табл. 2.

Для сравнения рассмотрим расчет трудозатрат на выполнение РДС, в условиях монтажа, сварного соединения – С25 – ГОСТ 5264 металла толщиной 45 мм и длиной 4 м.

Прямая норма времени ($N_{п}$) необходимая для сварки 1 м шва – 5 ч, при этом коэффициент $K_1 = 1,3$, при условии применения электродов УОНИ 13/55, FOX EV 50 и др., а $K_2 = 1,25$ – сварка с лесов. Время сварки 1 м шва одним электросварщиком: $N_{вр} = N_{п} \cdot K_1 \cdot K_2 = 5 \cdot 1,3 \cdot 1,25 = 8,1$ ч.

С учетом возможности выполнения двусторонней сварки шва длиной 4 м одновременно можно привлечь 4-х сварщиков. Принимая во внимание обязательную зачистку корня шва и промежуточных слоев, $N_{вр}$ увеличивается на 30 % – до 10,5 ч.

Для сварки 4 м шва одновременно 4-мя сварщиками, с привлечением для механической зачистки 2-х слесарей, необходимо: $10,5 \times 6 = 63$ чел.-ч.

Зачистка выполненных швов для контроля занимает – 3 ч, при условии сварки одновременно с двух сторон.

Цикл составляет: $10,5 + 3 = 13,5$ ч.

Трудозатраты: $63 + 6 = 69$ чел.-ч.

Трудозатраты на 1 м шва составляют: $69 : 4 = 17,25$ чел.-ч/м.

Приведенные выше расчеты произведены при условии одинаковых трудозатрат на сборку сварных соединений при РДС и ЭШС (табл. 2). Исходя из этих расчетов, трудозатраты на 1 погонный метр шва вертикального стыкового сварного соединения металла толщиной 45 мм, выполненного РДС, почти в 10 раз превышают аналогичный показатель для ЭШС.

Для реализации проекта 905-12КМ авторами предложена технологическая схема ремонта кожуха, заключающаяся в замене пояса высотой 14 м, состоящего из 12 укрупненных монтажных блоков, соединенных вертикальными стыками. Каждый монтажный блок собран из 8 полотнищ. Сварные швы между блоками и полотнищами в блоках выполняются ЭШС. Аналогичная технологическая схема предлагается и для второго пояса высотой 5 м.

На серийном оборудовании процесс ЭШС может длиться непрерывно до 10–12 часов. При минимальной скорости ЭШС – 1,5 м/ч для металла толщиной 45 мм, возможна сварка стыка длиной > 15 м. Несмотря на то, что действующий на сегодня ГОСТ-15164-78 ограничивает длину шва выполняемую ЭШС до 10 м, накопленный опыт в реализации тех-

нологии сварки длинномерных швов и наличие современного оборудования позволяют ИЭС им. Е.О. Патона обосновать увеличение длины шва до 14 м. Для выполнения этого процесса рекомендуется использовать аппарат АД-381Ш. Опыт его применения освещен в статье: «Сварочное производство» № 6, 2008 г., с. 32–36.

В проекте 905-12КМ для заменяемых частей кожуха рассматривается применение базовой стали марки 09Г2С класса прочности С345 по ГОСТ 19281-89, а также предусмотрена возможность применения проката новой стали марки 06ГБ. С учетом поставленной задачи, авторами выполнен анализ служебных характеристик стали 06ГБ С355 по ТУ У27.1-05416923-085:2006.

Сталь 06ГБ – современный конструкционный материал. Опубликованные в литературе данные свидетельствуют, что стали такого класса весьма экономичны, обладают сбалансированными механическими и технологическими свойствами. При низком содержании в них углерода и таких карбидо- и нитридо-образующих элементов, как ниобий и ванадий, способствующих получению мелкозернистой структуры путем термического улучшения, обеспечивается класс прочности С355-390. Это гарантирует хорошую свариваемость, хладостойкость и выносливость, как материала, так и изготовленных из него конструкций. Благодаря химической и структурной однородности сталь 06ГБ обладает высокими прочностными характеристиками в X, Y и Z направлениях. Металл не теряет своих свойств после механического старения, обладает хорошими характеристиками свариваемости, технологичен при использовании в условиях монтажной площадки.

В настоящее время прокат стали марки 06ГБ классов прочности С355 и С390 успешно применен при строительстве и ремонте ряда подобных ДП № 4 объектов, таких как ДП № 9 на ПАТ «Арселор Миттал, Кривой Рог», ДП № 2 на ПАО «МК «Азовсталь», а также резервуаров для хранения нефти емкостью 75 000 м³ в Бродах и 50 000 м³ в Мозыре. Для изготовления и монтажа перечисленных металлоконструкций в ИЭС им. Е. О. Патона разработаны соответствующие технологии сварки и осуществлено их научно-техническое сопровождение.

Прокат стали 06ГБ по ТУУ27.1-05416923-085:2006 класса прочности 390

Таблица 3. Химический состав проката сталей 06ГБ (ТУУ27.1-05416923-085:2006) и 09Г2С (ГОСТ 19281-89)

Марка, класс прочности	Массовая доля химических элементов, % (не более или в пределах)											
	C	Si	Mn	Nb	V	Mo	Ti	Cr	Ni	Cu	S	P
06ГБ С355	0,04–0,08	0,15–0,35	0,90–1,20	0,010–0,030	0,020–0,040	0,05	0,020	0,20	0,30	0,30	0,010	0,025
06ГБ С390	0,04–0,08	0,25–0,50	1,10–1,40	0,010–0,030	0,020–0,050	0,08	0,020	0,20	0,30	0,30	0,010	0,025
09Г2С С345	0,12	0,5–0,8	1,3–1,7	–	–	–	–	0,30	0,30	0,30	0,040	0,035

(при толщинах 12–40 мм) производства ПАО «МК «Азовсталь» применен также при строительстве моста через вход в гавань Подольского мостового перехода. Промышленная партия этой стали выплавлялась в кислородном конвертере емкостью 350 т с последующей обработкой жидким синтетическим шлаком и продувкой порошкообразным силикокальцием в струе аргона. Данная технология обеспечила низкое содержание серы, фосфора и неметаллических включений. Разливка осуществлялась на установке непрерывного литья. Прокатка стали производилась на стане 3600 с регламентацией температурно-деформационных параметров, состояние — закалка с отпуском. Сталь 06ГБ класса прочности С355 поставляется в состоянии после нормализации, а С390 после закалки с отпуском.

Требования к химическому составу сталей 06ГБ и 09Г2С приведены в табл. 3, а к их механическим свойствам в табл. 4.

Авторами проведены всесторонние исследования по оценке влияния термических циклов сварки (ТЦС) на механические свойства и ударную вязкость металла зоны термического влияния (ЗТВ). В качестве критерия ТЦС принималась скорость охлаждения металла при нагреве до температуры 1200–1300 °С и его остывания в соответствии с определенными условиями охлаждения сварных соединений в интервале температур 600–500 °С (W6/5). По результатам таких испытаний установлены предельные скорости охлаждения, при которых происходит снижение показателей прочности, пластичности и ударной вязкости металла ЗТВ по отношению к регламентируемым требованиям к сварным соединениям.

В целом испытания показали, что при сварке стали марки 06ГБ для обеспечения хороших показателей по ударной вязкости металла ЗТВ и шва при температуре испытаний –40 °С необходимо ограничивать скорость охлаждения сварных соединений. Установ-

Таблица 4. Механические характеристики и ударная вязкость сталей 06ГБ (ТУУ27.1-0541692085:2006) и 09Г2С (ГОСТ 19281-89)

Марка, класс прочности, толщина	σ_B , МПа	σ_T , МПа	δ_5 , %	Ψ , %	Ψ_Z , %	Ударная вязкость KCV при температуре испытаний, Дж/см ²			
						–20 °С	–40 °С	–60 °С	–70 °С
06ГБ С355 8–50 мм	355	455	22	55	25	–	98	78	59
06ГБ С390 8–50 мм	390	490	22	55	25	–	98	78	59
09Г2С С345 до 10 мм	345	490	21	–	–	–	–	–	–

лено, что комплекс механических свойств (σ_T , σ_B , δ_5 , Ψ , KCV) металла ЗТВ на уровне требований ТУУ 27.1-05416923-085:2006 в полной мере может быть обеспечен при сварке с ограниченным тепловложением, без специальных технологических приемов, когда минимальные скорости охлаждения сварных соединений находятся в пределах 7–10 °С/с. Эти значения хорошо согласуются с технологическими режимами для практических задач сварки при изготовлении и монтаже ответственных строительных металлоконструкций.

Авторы считают, что опыт применения проката стали марки 06ГБ С390 при капитальном ремонте ДП № 9 ПАО «Арселор Миттал, Кривой Рог», строительстве ДП № 2 на ПАО «МК «Азовсталь», и наработки по использованию новых сварочных технологий, могут быть успешно использованы и при реализации проекта 905-12КМ для ремонта второго разряда кожуха ДП № 4 ПАО «МК «Азовсталь». Следует отметить, что нормируемые СНиП III-18-75 (р. 3. п. 3.7) требования по показателям пластичности, ударной вязкости и твердости при ЭПС кожухов ДП достигаются при сварке сталей 06ГБ С355–390 без применения дополнительных технологических приемов. Важным аргументом для применения стали марки 06ГБ С355 при капитальном ремонте ДП № 4 ПАО «МК «Азовсталь» является ее высокая сопротивляемость замедленному разрушению, образованию холодных и ламелярных трещин по сравнению с известными марками низколегированных сталей данного класса прочности, в том числе со сталью 09Г2С. Этот наиболее существенный фактор необходимо учесть при последующих ремонтных работах, связанных со сваркой в жестких контурах и с работой конструкционного материала в направлении Z (соединения в районе мораторного кольца, элементы лещади, вставки и пр.).

● #878

К 55-летию отдела сварки ПАО «Турбоатом»

Сварочное производство ПАО «Турбоатом»

А. В. Вавилов, А. Г. Кантор, ПАО «Турбоатом» (Харьков)

1 июля 2015 г. исполнилось 55 лет отделу сварки ПАО «Турбоатом». С момента публикации статьи об истории создания и производственной деятельности отдела прошло пять лет («Сварщик» № 3–2010 г.).

За прошедшие пять лет специфика выпускаемой заводом основной продукции (энергогенерирующие и газовые турбины) не изменилась, она накладывает свой отпечаток на уровень организационных и технологических задач в сварочном производстве ПАО «Турбоатом».

Стоит отметить, что до 85% деталей и узлов в конечной продукции ПАО «Турбоатом» изготавливается с применением сварочных процессов.

Сварочное производство ПАО «Турбоатом» это:

- мощность сварочного производства — до 30 тыс. т. сварных конструкций в год;
- диапазон свариваемых толщин — от 0,25 до 270 мм;
- вес единичной сварной конструкции до 200,0 т;
- широкая номенклатура марок свариваемых сталей. Имеют место сварка и наплавка различных бронз, а так же никелевых, титановых и алюминиевых сплавов, ремонт деталей и отливок из чугуна;
- в подавляющем большинстве сварочные швы носят неорганизованный характер, имеют переменное по длине пространственное положение и трудно подлежат автоматизации;
- производство и продукции подведомственной нормативно-правовым актам по охране труда (НПАОТ), правилам и нормам в атомной энергетике (ПНАЭ), включая продукцию для Росатом и т.п.;
- доля сварных соединений, подвергаемых ультразвуковому контролю (УЗК) или радиографии составляет порядка 35%;

● для обеспечения производства сварных конструкций применяется до десяти способов сварки и наплавки, процессы пайки и электродугового напыления. Перечень применяемых сварочных материалов составляет порядка 80 позиций.

Все это позволяет охарактеризовать сварочное производство завода и дать представление об уровне и объемах решаемых задач.

К безусловным достижениям следует отнести тот факт, что в 2013 г. сварочное производство ПАО «Турбоатом», с привлечением международного НТЦ обеспечения качества и сертификации «ПАТОНСЕРТ» Института электросварки им. Е.О. Патона, было сертифицировано по международному стандарту ISO 3834-2 «Требования к качеству сварки плавлением металлических материалов. Часть 2. Всестороннее требования к качеству» (рис. 1). Наличие такого сертификата дает предприятию солидные конкурентные преимущества, поскольку весомым аргументом для заказчиков является то, что сварочные процессы выполняются в соответствии с требованиями международных стандартов.

За пятилетний период на заводе проведена масштабная работа по перевооружению сварочного производства.

В содружестве с ГП «Инженерный центр электронно-лучевой сварки» ИЭС им. Е.О. Патона НАНУ изготовлена и успешно эксплуатируется установка электронно-лучевой сварки KL-183 с возможностью осуществления процесса в автоматическом режиме с использованием системы ЧПУ.

Модернизированы два сборочно-сварочных стенда сварки роторов. По заказу завода ОЗСО ИЭС им. Е.О. Патона изготовил и внедрил новые сварочные автоматы А1569, также управляемые системами ЧПУ.

Организованы и оснащены три новых сварочных участка для сварки крупногабаритных узлов с применением процессов SMAW и MIG-MAG.

Прошедшая пятилетка отмечена и внедрением кардинально новых технологий в заготовительно-сварочном производстве.



Рис. 1. Сертификат главному сварщику завода Вавилову А. В. вручает Президент НАНУ Б. Е. Патон

Освоены процессы:

- правка биметаллических листовых заготовок (09Г2С + титан ВТ-1), изготовленных сваркой взрывом с обеспечением непрерывности зоны сплавления при гибке;
- плазменная резка листового проката из меди М1 толщиной 60 мм с последующей гибкой малым радиусом холодным деформированием;
- гибка конических и цилиндрических заготовок, исключая подгибку концов.

Впервые решалась задача по сварке трубок в трубных досках конденсаторов турбин, выполненных из титанового сплава. В ходе освоения этой технологии решались в т. ч. вопросы, связанные с обеспечением требуемых геометрии (включая гарантированное проплавление) и плотности сварочного шва, его цвета побежалости после сварки, а также разработке надежной технологии исправления выявленных дефектов в условиях ограниченного количества ремонтов (рис. 2).

В тесном сотрудничестве с отделом № 5 ИЭС им. Е. О. Патона (руководитель Царюк А. К.) была проведена масштабная научно-исследовательская работа, разработана и внедрена технология автоматической сварки под флюсом комбинированных роторов паровых турбин. Принципиальная новизна заключается в том, что взамен конструкции не сварного ротора с насадными дисками (вал ротора из стали ЭИ-415, а диски низкотемпературной части ротора выполняются насадными из стали 25Х2НМФА) внедрена конструкция комбинированного ротора из свариваемых частей из вышеупомянутых сталей (рис. 3). В результате обеспечено снижение расхода дорогостоящей высоколегированной стали ЭИ-415, сокращен цикл производства и повышена эксплуатационная надежность ротора.

Следует отметить, что тесное сотрудничество с ведущими научными организациями, такими как ИЭС им. Е. О. Патона, ХНУ «ХПИ» (Харьков) и другими, при разработке актуальных для завода тематик научно-исследовательских работ является доброй традицией, приносящей весомый вклад в потенциал сварочного производства.

Из приоритетных задач, стоящих в настоящее время перед отделом сварки ПАО «Турбоатом» следует выделить:

- разработать надежную технологию ис-

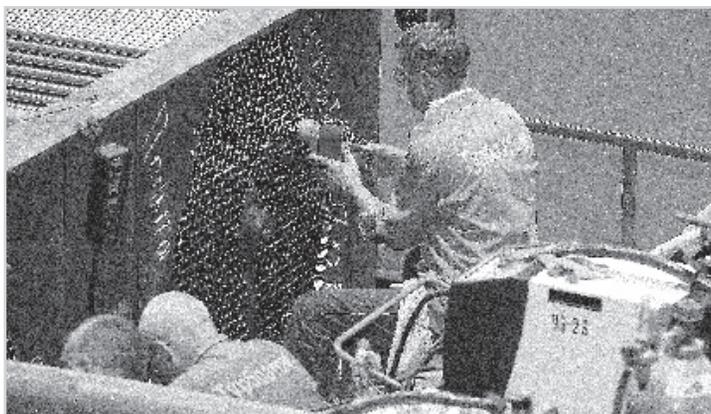


Рис. 2. Орбитальная сварка титановых трубок в трубной доске конденсатора

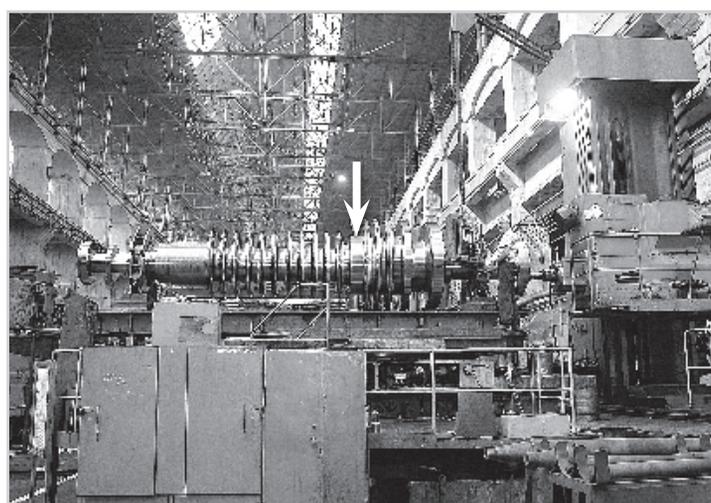


Рис. 3. Механическая обработка комбинированного ротора после сварки. Расположение сварного шва указано стрелкой

правления дефектов литья из оловянистой бронзы, в т. ч. для окончательно обработанных деталей;

- исследовать и разработать технологию сварки комбинированных трубопроводов острого пара паровых турбин из сталей Р91+ПЗ с гарантированным обеспечением эксплуатационных характеристик сварных соединений, включая критерии жаростойкости;
- проведение опытных работ с целью разработки и освоения технологии аргодуговой сварки корня шва с гарантированным проваром при изготовлении роторов низкого давления тихоходных турбин;
- обеспечение преемственности и повышения профессионального уровня молодых кадров отдела в нынешних условиях их дефицита. Молодые специалисты проходят обучение навыкам практической сварки (способами РДС, MIG-MAG и TIG). Очевидно, что такой инженер-сварщик способен решать производственные задачи на более высоком уровне.

Ну и конечно же, обеспечить стабильность производства при выполнении поставленных задач — вот основная задача Отдела сварки. Отдел сварки к этому готов!

• #879

Нагрев изложниц перед разливкой стали

В. М. Литвинов, Ю. Н. Лысенко, С. А. Чумак, ООО «НИИПТмаш – Опытный завод»;

В. В. Капустин, ПАО «Энергомашспецсталь» (Краматорск)

Согласно технологическому процессу разливки жидкой стали в изложницы, они должны быть разогреты до температуры не ниже 110 °С, чтобы гарантировать отсутствие воды, наличие которой недопустимо на поверхности изложницы.

Ранее разогрев изложниц осуществлялся с помощью кольцевых газоздушных горелок (рис. 1), которые вводились внутрь малых и средних изложниц, расположенных горизонтально, или устанавливались в нижней части крупных изложниц, расположенных вертикально. В обоих случаях стенки изложниц прогревались восходящими потоками продуктов горения смеси природного газа и воздуха, которые уже потеряли свою изначальную температуру. Коэффициент полезного действия (КПД) этих горелок низкий и, в условиях дефицита природного газа и его дороговизны, такой метод слабо удовлетворял требования производства.

На ПАО «Энергомашспецсталь» совместно со специалистами ООО «НИИПТмаш – Опытный завод», в рамках комплекса мероприятий по экономии природного газа, внедрили новую технологию разогрева изложниц. Она основана на использовании газоздушных горелок с высоким КПД, у которых передача тепла в изложницу происходит в зоне максимальных температур факела горелки. Все изложницы завода были разбиты на пять групп, характеристики которых приведены в табл. 1. Диаметры слитков внутри каждой группы отличаются друг от друга не более чем на 90 мм. Для каждой группы слитков был разработан свой стенд разогрева, который оптимален именно для этой группы.



Рис. 1. Заводская горелка в работе

Эксперименты по нагреву изложниц с помощью горелок ГВ-ВК7 (аналог ГВ-ВК7-Г2), которые достаточно широко используются при других технических заданиях («Сварщик», № 5, 2011 г., с. 8–12), дали положительные результаты, но были выявлены следующие недостатки:

- большой вес (когда одновременно используется много горелок это существенно);
- неразборное исполнение корпуса горелки затрудняет уход за ней;
- для разогрева изложниц, мощности горелки недостаточно.

Разработанная для стендов нагрева изложниц газоздушная горелка ГВ-ВК7-Г2 (рис. 2), учитывает недостатки аналога (ГВ-ВК7). Она в 2 раза легче, в 1,8 раза мощнее и выполнена в разборном варианте, что облегчает ее обслуживание (табл. 2).

Для оптимизации транспортных операций нагрев изложниц целесообразно производить в их горизонтальном положении несколькими горелками, которые расположены внутри изложницы в нескольких плоскостях, перпендикулярных продольной оси изложницы. В каждой плоскости го-

Таблица 1. Характеристики изложниц

№ группы слитков	Масса, т	Приведенные параметры слитков, мм			Оборудование для нагрева изложниц
		диаметр донной части	диаметр головной части	длина	
1	3,6-7,2	685	780	1450	*
2	8,4-14,5	920	1090	1590	стенд СНИ-2
3	16,1-28	1110	1310	2060	*
4	32,7-45,8	1420	1650	2250	*
5	50,0-66,5	1670	1980	2300	стенд СНИ-5

* – оборудование находится на стадии проектирования

Таблица 2. Технические характеристики горелок ГВ-ВК7-Г2 и ГВ-ВК7 (аналог)

Параметры	ГВ-ВК7-Г2	ГВ-ВК7 (аналог)
Давление природного газа в магистрали, МПа	0,06–0,12	0,04–0,09
Давление природного газа перед горелкой, МПа	0,04–0,08	0,03–0,07
Расход природного газа, м ³ /ч	8,2–10,8	4,4–5,6
Давление сжатого воздуха в магистрали, МПа	0,2–0,6	0,2–0,4
Расход сжатого воздуха, м ³ /ч	100–130	50–70
Масса горелки, кг	0,7	1,4

релки должны быть расположены по периметру изложницы неравномерно, так как верхняя ее часть нагревается быстрее. Расстояние между горелками и внутренней поверхностью изложницы должно находиться в пределах 250 ± 45 мм (зона максимальных температур факела горелки).

Расчет количества горелок и мест их расположения внутри изложницы производилось экспериментально для каждой из 5 групп изложниц. Для этого были собраны две независимые установки из трех горелок каждая, позволяющие позиционировать горелки внутри изложницы с возможностью их переустановки по оси и с возможностью изменения углов между горелками (рис. 3). Температуры на внешней поверхности изложницы в процессе нагрева и на внутренней поверхности изложницы после нагрева измерялась оптическим пирометром. По результатам экспериментов было выбрано оптимальное количество горелок и их расположение в пространстве для всех 5-ти групп изложниц, причем для 2-й и 5-й групп стелды для нагрева уже разработаны и внедрены, а для остальных групп изложниц они находятся на стадии проектирования.

Для 2-й группы слитков, стелд нагрева СНИ-2 (табл. 1 и рис. 4) состоит из 8 горелок ГВ-ВК7-Г2, расположенных в двух плоскостях, перпендикулярных продольной оси изложницы, на расстоянии 400 мм от ее краев, по 4 горелки в каждой плоскости. Угол между 2-мя верхними горелками равен 120° , угол между 2-мя нижними горелками составляет 60° . Такое расположение горелок на стелде обеспечивает равномерное распределение температур по поперечному сечению изложницы при ее нагреве.

Общий вес стелда не превышает 17 кг и он устанавливается в рабочее положение вручную.

Для 5-й группы слитков стелд нагрева изложниц СНИ-5 (табл. 1 и рис. 5), включает в себя две независимые тележки, на которых установлены по одному коллектору с 12-ю горелками ГВ-ВК7-Г2 на каждом, причем горелки на каждом коллекторе расположены в двух плоскостях по 6 штук на расстоянии 400 мм друг от друга. Углы между горелками в каждой плоскости выбраны экспериментально и гарантируют равномерное распределение температуры по периметру изложницы.

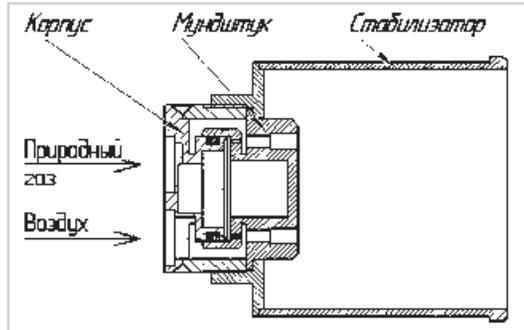


Рис. 2. Газовоздушная горелка ГВ-ВК7-Г2, разработанная для стелдов нагрева изложниц

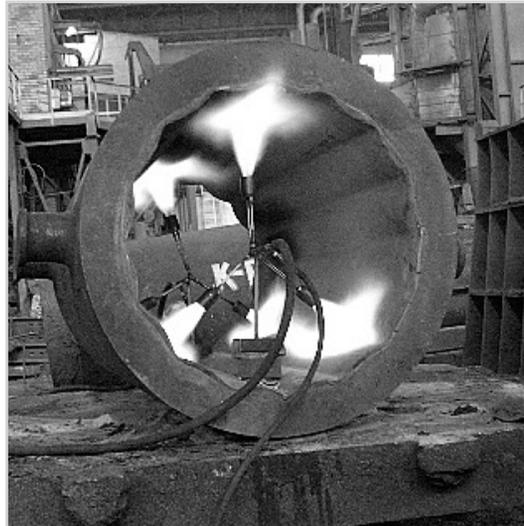


Рис. 3. Экспериментальная установка для определения количества горелок и мест их расположения для каждой из 5-ти групп изложниц

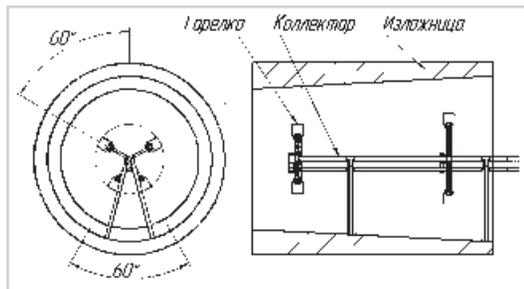


Рис. 4. Стелд нагрева изложниц СНИ-2 для 2-й группы слитков

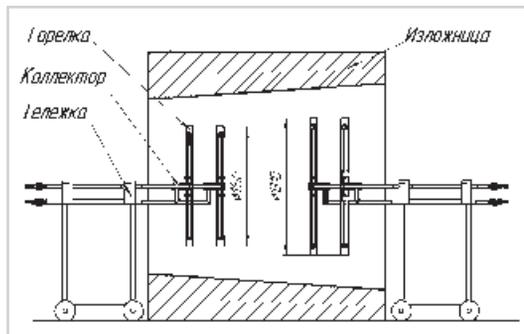


Рис. 5. Стелд нагрева изложниц СНИ-5 для 5-й группы слитков

Коллекторы с горелками вводятся внутрь изложницы с двух сторон с помощью тележек. Расстояние между краями изложницы и горелками по 400 мм с каждой стороны.

При нагреве штатной изложницы под слиток массой 63 т на стенде СНИ-5 были произведены замеры температур по длине изложницы в нижней, средней и верхней ее

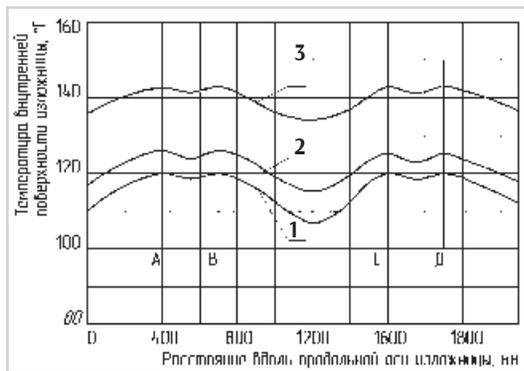


Рис. 6. Распределение температур на внутренней поверхности изложницы при ее нагреве на стенде СНИ-5



Рис. 7. Стенд для нагрева изложниц пятой группы слитков

Таблица 3. Исходные данные для расчета эффективности нагрева изложницы под слитки 14,6 т и 63 т на стендах СНИ-2 и СНИ-5 по сравнению с заводской горелкой

Изложница под слиток, т	Параметр	Заводская горелка	Стенд СНИ-2	Стенд СНИ-5
14,6	Расход природного газа, м ³ /ч	220	86	—
	Время нагрева изложницы, ч	0,4	0,6	—
	Количество природного газа в расчете на 1 изложницу, м ³	88	51,6	—
63,0	Расход природного газа, м ³ /ч	220	—	200
	Время нагрева изложницы, ч	1,7	—	1,1
	Количество природного газа в расчете на 1 изложницу, м ³	374	—	220

части. На основании прямых замеров были построены графики распределения температур на внутренней поверхности изложницы при ее нагреве на стенде (рис. 6).

Линии А, В, С и Д на графике (рис. 6) определяют положение плоскостей, перпендикулярных продольной оси изложницы, на которых размещены горелки ГВ-ВК7-Г2, по 6 горелок на каждой плоскости. Кривая 1 показывает распределение температур по длине изложницы в нижней ее части в момент окончания нагрева. Кривая 2 — распределение температур по длине изложницы на внутренней ее поверхности сбоку. Кривая 3 — распределение температур по длине изложницы в верхней ее части.

Анализ кривых на графике (рис. 6) позволил сделать вывод, что нагрев внутренней поверхности изложницы под слиток 63 т на стенде СНИ-5 гарантирует качественный прогрев всей рабочей поверхности изложницы до температуры выше 110 °С при минимальных затратах энергоносителей и в минимальные сроки.

На рис. 7 видно, что все 24 горелки ГВ-ВК7-Г2 находятся на одинаковом расстоянии от внутренней поверхности изложницы в зоне факелов с максимальной температурой, что обеспечивает максимальную передачу тепла в изделие, а пятна нагрева каждой горелки равномерно распределены по внутренней поверхности изложницы. Это говорит о том, что большая часть тепла, полученная при горении природного газа в смеси с воздухом, используется на нагрев изложницы. При этом потери тепла минимальны.

В табл. 3 приведены исходные данные для расчета эффективности нагрева изложницы под слитки 14,6 т и 63 т на стендах СНИ-2 и СНИ-5 по сравнению с заводской горелкой.

Из табл. 3 видно, что при нагреве одной изложницы под слиток массой 14,6 т на стенде СНИ-2 расходуется природного газа в 1,7 раза меньше, чем при нагреве этой изложницы старой заводской горелкой. При нагреве одной изложницы под слиток массой 63 т на стенде СНИ-5 расходуется природного газа также в 1,7 раза меньше, чем при нагреве этой изложницы заводской горелкой по существующей старой технологии.

Тенденции развития мирового и национального рынков сварочной техники*

О. К. Маковецкая, канд. экон. наук, С. В. Пустовойт, канд. техн. наук,
В. С. Петрук, Н. С. Бровченко, Институт электросварки им. Е. О. Патона НАНУ

Сварка является одной из базовых технологий индустриальной экономики. С ее помощью создается значительная доля валового внутреннего продукта (ВВП) промышленно развитых стран. Для таких стран характерно устойчивое развитие сварочного производства, которое определяется ростом потребления конструкционных материалов, появлением на рынке новых материалов, технологий и оборудования для сварки. Представлена систематизированная экономико-статистическая информация о состоянии и развитии мирового и национального рынков сварочного производства. В статье приведены натуральные и стоимостные показатели объемов производства, экспорта и импорта сварочного оборудования и материалов в Украине.

Сварка, как основная технология соединения материалов, является неотъемлемой составляющей промышленного сектора экономики, интегрированной в производственный процесс базовых отраслей промышленности, ключевой технологией для выпуска продукции в металлообрабатывающих отраслях промышленности и строительстве. Ее вклад в создание валового внутреннего продукта (ВВП) промышленно развитых стран составляет от 40 до 60 %.

В настоящее время сварочное производство — это самостоятельный технологический сектор, имеющий межотраслевой характер и являющийся одним из научно- и инженероемких составляющих мировой и национальных экономик.

Сварочное производство, в нашем понимании, включает в себя научную составляющую, производство современных сварочных материалов и оборудования (сварочной техники), систему подготовки инженерных и рабочих кадров, а также производство сварных конструкций и другой продукции, при изготовлении которой сварка и родственные ей процессы являются безальтернативными технологиями. Устойчивое и эффективное развитие свароч-

ного производства в промышленно развитых странах базируется на использовании результатов фундаментальных и прикладных исследований, высоком научно-инженерном потенциале, квалифицированных трудовых ресурсах и активном применении новых сварочных технологий и других инноваций.

Мировой рынок сварочной техники. Производство сварочной техники является одним из основных компонентов сварочного производства. Благодаря широкому применению технологий сварки и наплавки в различных отраслях промышленности и строительстве (рис. 1), объемы выпуска сварочной техники и ее потребления растут (рис. 2), несмотря на кратковременные спады в периоды кризисных явлений в мировой экономике и на отдельных региональных рынках.

Стоимостный объем рынка сварочной техники, основными секторами которого являются сварочные материалы и оборудование для сварки и наплавки, согласно оценке ведущих аналитических компаний BCC Research и Transparency Market Research, в 2014 г. составил 19,3 млрд. долл. США и к 2020 г. достигнет 25 млрд. долл. США, при этом его ежегодный рост в 2015–2019 гг. ожидается на уровне 4,5–5,3% [1, 2]. Данные о динамике стоимостного объема мирового рынка сварочной техники и его структуре в 2010–2012 гг. и прогнозе развития до 2017 г. приведены на рис. 3 [3].

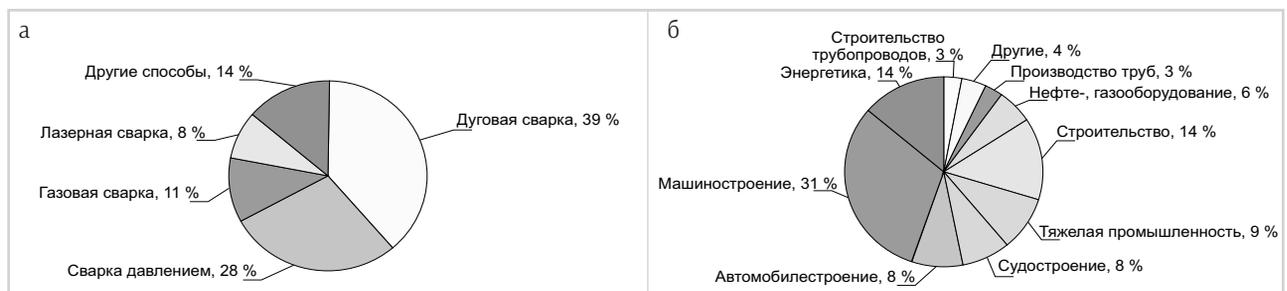


Рис. 1. Структура мирового сварочного рынка по видам сварки (а) и отраслям промышленности (б)

* Продолжение. Начало (Россия) в № 3–2015 г. (стр. 34–39).

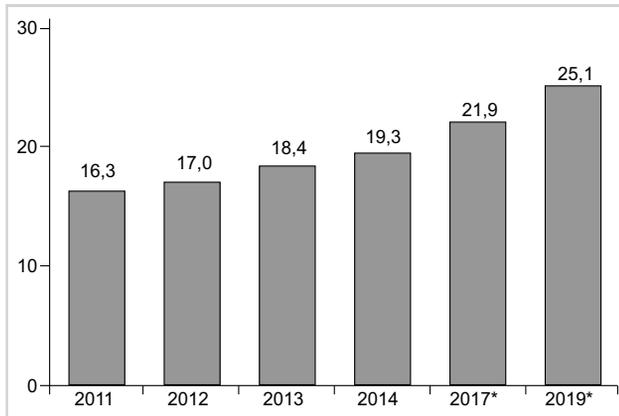


Рис. 2. Динамика роста мирового рынка сварочной техники в 2011–2019 гг., млрд. долл. США (* – прогноз)

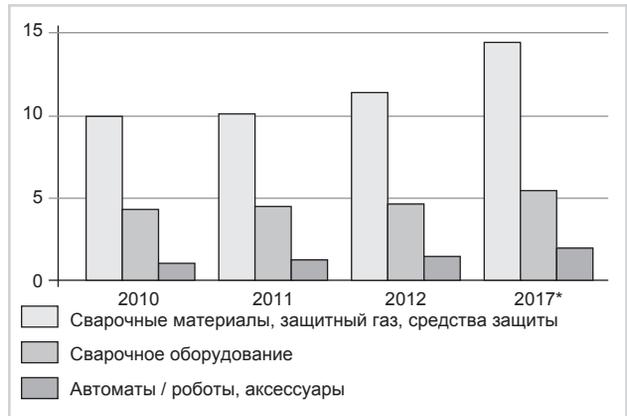


Рис. 3. Динамика и структура мирового рынка сварочной техники в 2010–2017 гг., млрд. долл. США (* – прогноз)

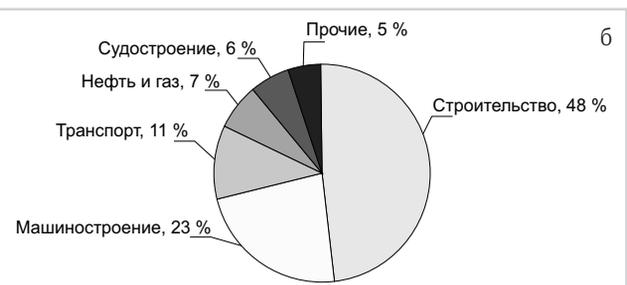


Рис. 4. Распределение мирового объема потребления стали по регионам (а) и по отраслям промышленности (б) в 2012 г., %

Основанием для такого прогноза являются данные о динамике производства и потребления в мире стали – основного конструкционного материала (доля которой составляет 93–95%) при изготовлении сварных конструкций. На алюминий, титан и другие цветные металлы и пластмассы суммарно приходится 5–7%. Распределение мирового объема потребления стали по регионам и по отраслям промышленности показано на рис. 4.

Развитие индустрии производства стали является одним из главнейших факторов, определяющих состояние и динамику развития сварочного производства не только сегодня, но и в обозримом будущем. По оценкам экспертов World Steel Association и Международного института чугуна и стали (IISI) к 2025 г. спрос на стальной металлопрокат увеличится до 2,5 млрд. т в год (рис. 5). Можно ожидать, что к 2025 г. соответственно вырастут и объемы выпуска оборудования для сварки и потребления сварочных материалов (до 11 млн. т).

Приведенная выше информация о состоянии и перспективах развития индустрии производства стали позволяет утверждать, что объемы сварочного производства в обозримом будущем будут расти и, соответственно, будет расти рынок сварочной техники.

Сварочные материалы являются одним из основных сегментов рынка сварочной техники. В 2013 г. стоимостный объем рынка сварочных материалов достиг уровня 8,75 млрд. долл. США, что составляет более половины всего мирового

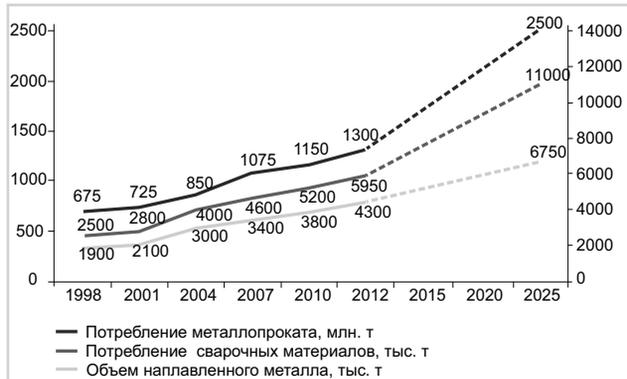


Рис. 5. Мировое потребление металлопроката, сварочных материалов и наплавленного металла

рынка сварочной техники. Структура и динамика развития мирового рынка сварочных материалов в 2010 и 2017 гг., согласно оценке Frost & Sullivan, приведена на рис. 6.

Данные о доле ручной дуговой сварки в мире в процентах по наплавленному металлу (рис. 7) и структуре способов дуговой сварки (табл. 1) свидетельствуют о широком внедрении в промышленно развитых странах механизированной и автоматической дуговой сварки в защитных газах, в том числе и с использованием порошковой проволоки [4]. Лидерами в использовании сварки в защитных газах являются страны ЕС (63,9%), США (61,4%), Тайвань (54,8%) и Япония (49,5%), а сварки с применением порошковой проволоки – Южная Корея (40%), Япония (35,9%) и США (22,1%). На долю

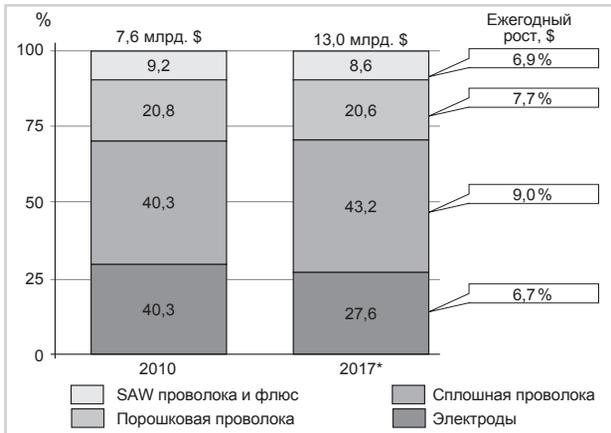


Рис. 6. Структура и динамика развития мирового рынка сварочных материалов в разрезе основных продуктовых сегментов (* – прогноз)

Таблица 1. Технологическая структура способов дуговой сварки в мире (в % по наплавленному металлу)

Страна	Способ сварки	Годы						
		1965	1975	1985	1995	2000	2005	2012*
Западная Европа	- РДС		58	34	18	15	12	8,9
	- CO ₂	74	31	56	70	71	75	63,9
	- ПП		2	3	6	6,5	6,5	19,1
	- АФ		9	7	6	7,5	6,5	8,1
США	- РДС		53	42	25	19,5	15	10,3
	- CO ₂	71	25	38	54	54	58,5	61,4
	- ПП		13	13	19	19	19,5	22,1
	- АФ		9	7	7	7,5	7	6,2
Япония	- РДС		67	44	22	14	12	7,3
	- CO ₂	85	20	39	52	54	54,5	49,5
	- ПП		1	11	25	25	27	35,9
	- АФ		9	10	7	7	6,5	7,3
Украина	- РДС	65,6	52,4	44,9	65,1	66,6	64,8	48,9
	- CO ₂	9,5	23,7	35	26,5	23,3	16,1	32,5
	- ПП	0,5	3,2	3,4	0,9	0,5	3,2	1,4
	- АФ	27	20,7	16,7	7,5	9,6	15,9	17,2

Примечание: * – данные «The Japan Welding News For The World» и ИЭС им. Е.О. Патона

Таблица 2. Сварочное производство Украины

Показатель	Количество
Предприятия – производители сварных конструкций (имеющие 5 и более сварщиков), ед.	около 2000*
Предприятия – изготовители оборудования, ед.	39
Предприятия – изготовители материалов, в т.ч. сертифицированных (УкрСЕПРО), ед.	64 33
Система подготовки кадров, ед.:	
- Вузы	17
- Техникумы	17
- Профтехучилища	487
Количество занятых, тыс. чел.:	
- Рабочих сварочных специальностей	около 80*
- ИТР	более 5*

* – оценка

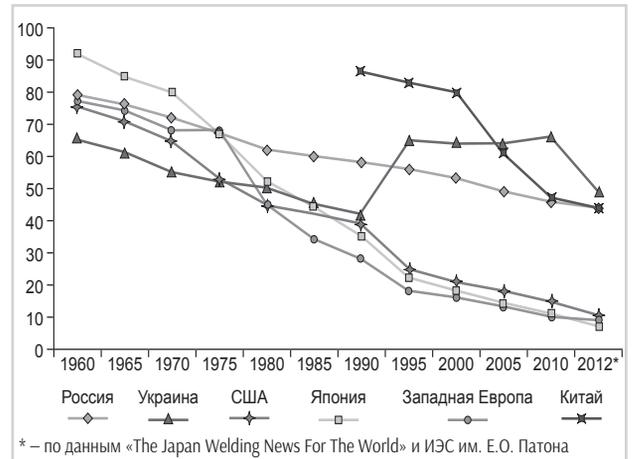


Рис. 7. Доля ручной дуговой сварки в мире (в % по наплавленному металлу)

ручной дуговой сварки (РДС) в Японии приходится 7,3%, в ЕС – 8,9%, в Южной Корее – 9,6% и в Северной Америке (США, Канада) – 10,3%. В 1990 г. использование РДС в этих же странах составляло 35–45%. В целом по миру доля РДС постоянно снижается и в 2012 г. составляла 33,7%, в основном за счет Индии (45%), Китая (43,7%), стран СНГ (44%) и остальных, в которых ее доля составляет 22–52%.

В соответствии с этими данными на рынке промышленно развитых стран более востребованным является сварочное оборудование для механизированной и автоматической дуговой сварки в защитных газах, в том числе и с использованием порошковой проволоки. Внедрение лазерной и гибридной лазерной сварки в передовых странах способствует росту спроса на дорогостоящее оборудование для этих способов сварки и, соответственно, созданию новых производственных мощностей для его выпуска.

Национальный рынок сварочной техники. Для сварочного производства Украины (табл. 2) характерно достаточно высокое развитие сварочной науки, наличие на большинстве предприятий современных линий по производству сварочной техники (оборудования и материалов), системы подготовки инженерных и рабочих кадров, а также производств по изготовлению широкой номенклатуры сварных конструкций и другой продукции, в которых сварка и родственные ей процессы являются основными технологиями.

Региональная структура сварочного производства Украины представлена в табл. 3 [5]. Наибольшее количество предприятий сосредоточено в Донецко-Приднепровском регионе. Они выпускают 57% сварных конструкций, производимых в Украине, а в их производстве задействовано почти 45% ИТР и 44% рабочих. В этом регионе функционируют 23,5% вузов III–IV и 53% вузов I–II уровня

Таблица 3. Региональная структура сварочного производства Украины, %

Регион	Кол-во предприятий	Выпуск СК	ИТР	Рабочие	Вуз III-IV у. а.*	Вуз I-II у. а.
Центральный ¹	22,4	14,1	11,4	16,8	23,5	17,6
Донецко-Приднепровский ²	34,4	57,0	44,9	43,5	23,5	64,7
Восточный ³	12,5	9,7	24,0	14,7	5,9	11,8
Южный ⁴	10,6	8,0	8,3	9,5	17,7	5,9
Западный ⁵	20,1	11,2	11,4	15,5	29,4	0
Всего	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

* у. а. – уровень аккредитации

Примечания: 1 – г. Киев, Киевская, Черниговская, Черкасская, Кировоградская, Житомирская обл.

2 – Донецкая, Днепропетровская, Луганская, Запорожская обл.

3 – Харьковская, Сумская, Полтавская обл.

4 – Николаевская, Одесская, Херсонская обл., Республика Крым.

5 – Винницкая, Волынская, Закарпатская, Ивано-Франковская, Львовская, Ровенская, Тернопольская, Хмельницкая, Черновицкая обл.

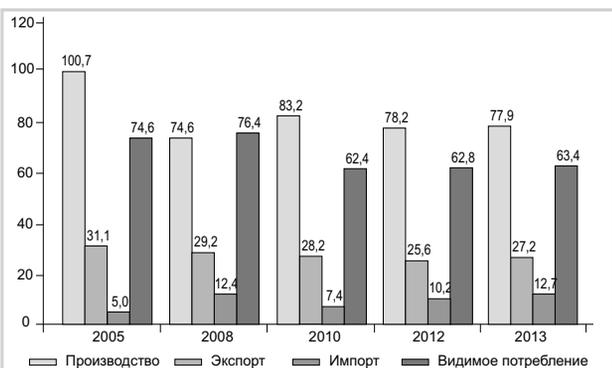


Рис. 8. Украинский рынок сварочных материалов, тыс. т

Таблица 4. Структура производства и потребления в Украине сварочных материалов, тыс. т

Год	Показатель	Всего	Проволока сварочная, обычная	Проволока сварочная, легированная	Порошковая проволока	Электроды сварочные	Флюсы сварочные
2011	Производство	86,7	8,7	11,5	1,6	43,0	25,1
	Экспорт	28,1	–	2,2	0,6	8,1	17,2
	Импорт	10,8	–	6,4	0,6	1,1	2,7
	Видимое потребление	69,4	8,7	15,7	1,6	36,0	10,6
2012	Производство	78,2	7,7	10,0	2,7	38,6	21,7
	Экспорт	25,6	–	2,3	0,6	7,0	15,7
	Импорт	10,2	–	7,0	0,5	1,2	1,5
	Видимое потребление	62,8	7,7	14,7	2,6	32,8	7,5
2013	Производство	77,9	7,5	10,0	2,6	40,4	19,8
	Экспорт	27,2	–	1,6	0,3	10,5	13,9
	Импорт	12,7	–	8,6	0,5	1,4	1,6
	Видимое потребление	63,4	7,5	17,0	2,8	31,3	7,5

аккредитации (у. а.), которые готовят инженерно-технические кадры для сварочного производства.

Сварочные материалы являются основным сегментом украинского рынка сварочного производства. На рис. 8 и в табл. 4 представлена динамика выпуска сварочных материалов в Украине, их экспорта и импорта. Экспорт составляет до 1/3 объема производства, а видимое потребление сварочных материалов внутри страны в 2010–2013 гг. находилось на уровне 63 тыс. т. С 2011 г. по 2013 г. потребление сварочных материалов сократилось. Основную долю импорта составляет сплошная легированная проволока, а основную долю экспорта – плавные флюсы.

На рис. 9 приведены восемь основных украинских производителей сварочных материалов, доля которых в годовом выпуске сварочных материалов в 2013 г. составила почти 96%. На долю остальных, более мелких производителей приходится 4%. В докризисные годы их доля на рынке была выше 9%. Это свидетельствует о том, что мелким производителям далеко не всегда удается выжить и процесс концентрации производства сварочных материалов продолжается.

В структуре выпуска сварочных материалов (рис. 10) почти половину занимает производство сварочных электродов (по сравнению с 1990 г. их доля выросла почти на 20%), около 30% приходится на сварочные флюсы. По сравнению с 1990 г. существенно сократился выпуск сварочной легированной проволоки.

Наличие данных о структуре и объемах потребления сварочных материалов позволяет определить по наплавленному металлу долю каждого из основных способов дуговой сварки (рис. 11). В Украине в 60-х – 80-х годах уровень механизации дуговой сварки был сопоставим с передовыми странами. В 1990–1995 гг. доля ручной сварки увеличилась до 65,1% и в дальнейшем медленно снижалась до 49,7% в 2012 г. По этому показателю Украина существенно уступает аналогичному показателю промышленно развитых стран.

Производство сварочных материалов в Украине ориентировано на потребление их как внутри

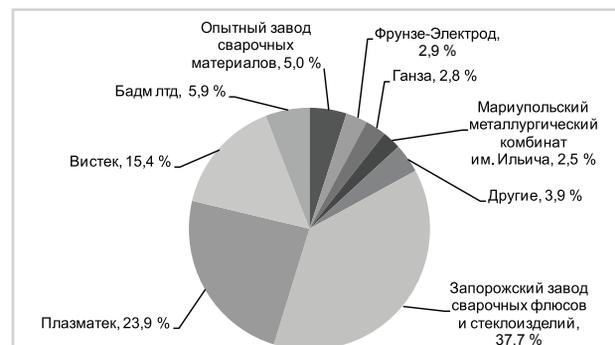


Рис. 9. Основные производители сварочных материалов в Украине

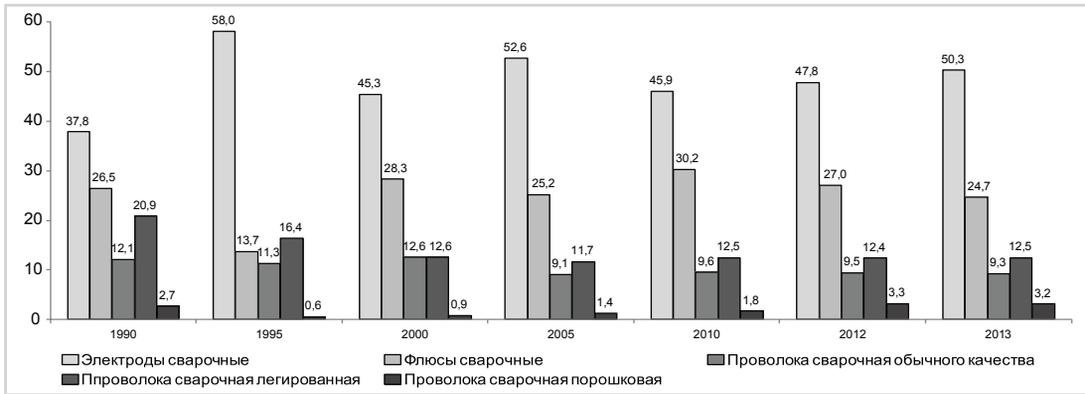


Рис. 10. Структура выпуска сварочных материалов, %

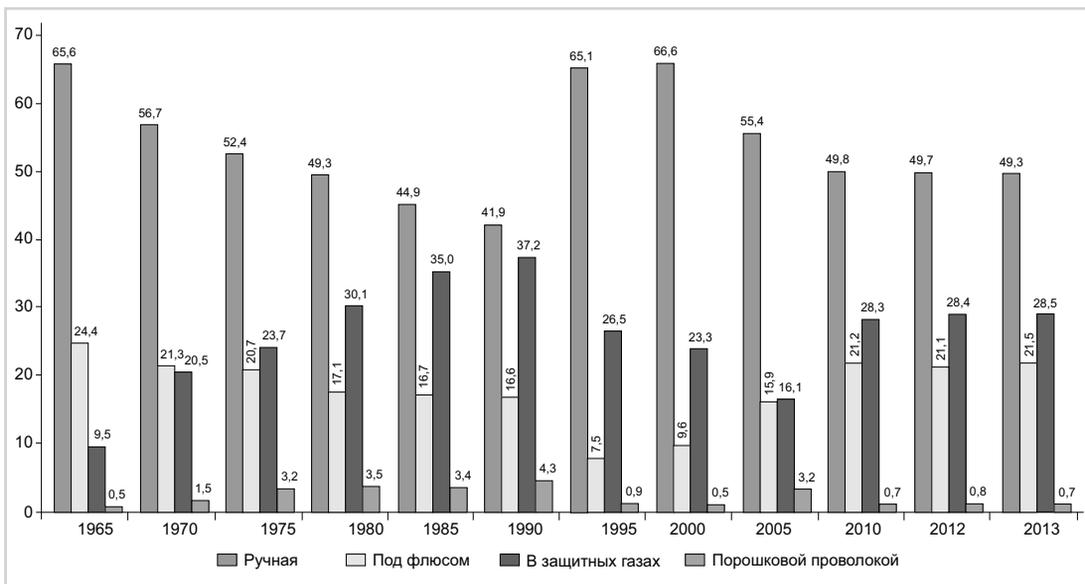


Рис. 11. Технологическая структура способов дуговой сварки в Украине (в % по наплавленному металлу)

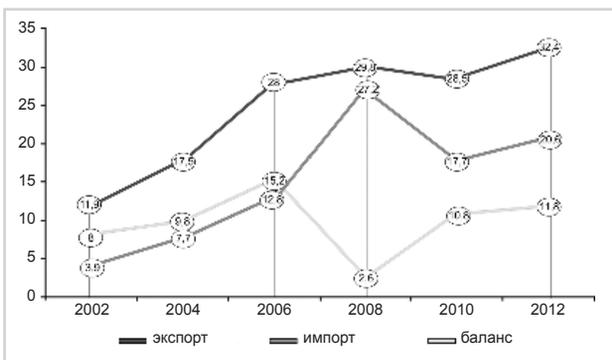


Рис. 12. Внешнеторговый баланс Украины по сварочным материалам, млн. долл. США

страны в разных отраслях промышленности, так и на поставку на зарубежные рынки. Доля экспорта в украинском рынке сварочных материалов составляет почти 30% от объема их производства, при этом импорт не превышает экспортных поставок. Такое соотношение экспорта и импорта обеспечивает в целом положительный внешнеторговый баланс по сварочным материалам (рис. 12) [6].

В последние годы украинские производители сварочных материалов в борьбе за потребителя

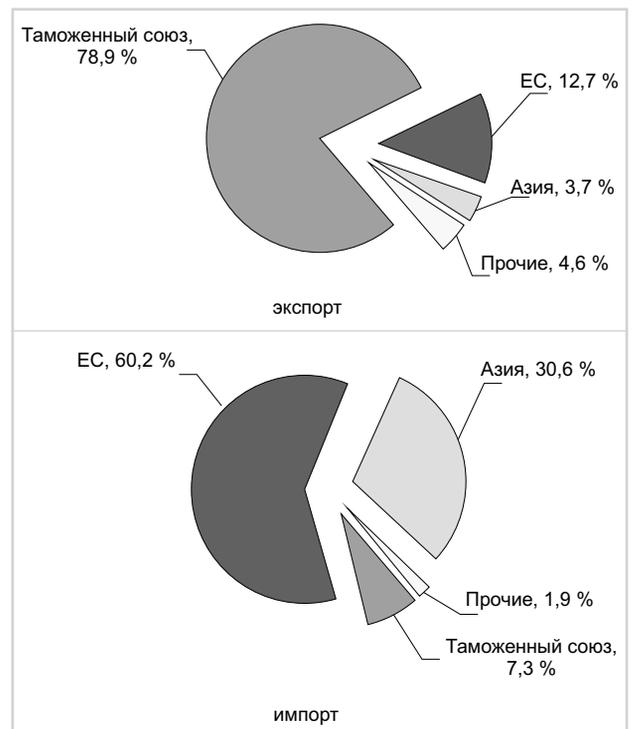


Рис. 13. География экспорта и импорта сварочных материалов (2012 г.)

ощущают жесткую конкуренцию со стороны импортеров, которая обострилась после вхождения Украины в ВТО и открытия внутреннего рынка. Динамика роста импорта сварочных материалов в Украине с 2002 по 2012 г. (с 3,9 до 27 млн. \$) превышает динамику экспорта за этот период (с 11,9 до 29,8 млн. \$). Рост импорта вызвал снижение положительного внешнеторгового баланса до 2,6 млн. \$. Финансовый кризис 2008 г. ослабил позиции импортеров (вследствие роста курса доллара к гривне), что способствовало снижению объемов импорта сварочных материалов. По мере преодоления кризисных явлений в экономике возобновилась тенденция роста доли импорта во внешнеторговом балансе Украины.

Внешнеторговая деятельность по основным региональным объединениям на рынке сварочных материалов в 2012 г. представлена на рис. 13.

По итогам 2012 г. 75% объемов экспорта сварочных материалов Украины приходится на страны Таможенного союза (в основном Россия, Беларусь и Казахстан) и только 12,7% — на страны ЕС. При этом в импорте сварочных материалов наблюдается противоположная ситуация — 60,2% объемов составляют поставки из стран ЕС, а 7,3% — из стран Таможенного союза. В структуре импорта весома также доля поставок из стран Азии — 30% (в основном Китая). Такое соотношение экспорта и импорта по основным регионам характерно для всех

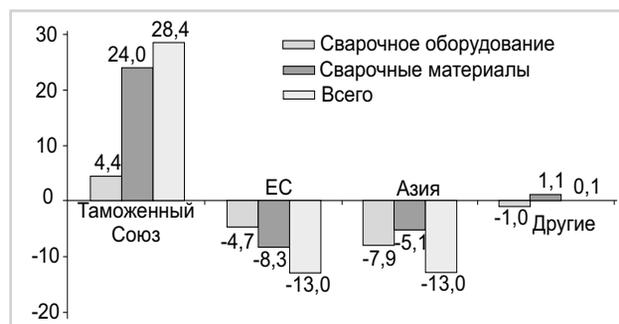


Рис. 14. Внешнеторговый баланс по группам товаров сварочной техники Украины по основным региональным объединениям в 2012 г., млн. долл. США

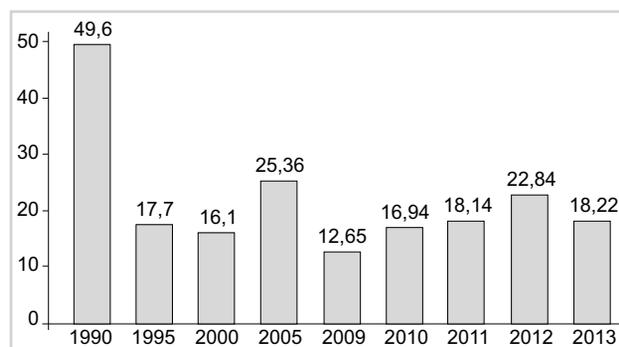


Рис. 15. Динамика производства электросварочного оборудования, тыс. ед.

исследуемых периодов. Аналогичная ситуация наблюдается и по внешнеторговым операциям по группе товаров сварочного оборудования.

Внешнеторговый баланс по группам товаров сварочной техники в 2012 г. представлен на рис. 14.

В Украине насчитывается 39 предприятий — изготовителей сварочного оборудования, которые суммарно производят до 20 тыс. единиц оборудования в год (рис. 15 и 16). В структуре производства сварочного оборудования преобладают источники питания, а также автоматы и полуавтоматы для дуговой сварки (рис. 17).

Внешнеторговый баланс по сварочному оборудованию представлен в табл. 5. С 2007 г. преобладают импортные операции. Наибольшее отрицательное сальдо, достигшее уровня 17,7 млн. \$, наблюдалось в 2008 г. На страны Таможенного союза и СНГ приходится основная доля экспорта оборудования для сварки, а импорт поступает в основном из стран Европейского союза (рис. 18).

С 2008 г. существенно увеличились и затем ежегодно росли объемы поставок сварочного оборудования из Китая. В 2013 г. они достигли уровня 15 млн. \$ США (рис. 19). Экспорт же украинского электросварочного оборудования даже в благоприятный 2011 г. составил всего 3,7 млн. \$ США.

В 2009–2013 гг. внешнеторговый баланс Украины по группам товаров рынка сварочной техники

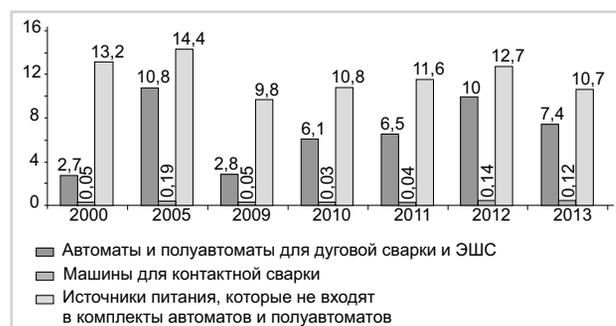


Рис. 16. Динамика и структура производства электросварочного оборудования в 2000–2013 гг., тыс. ед.

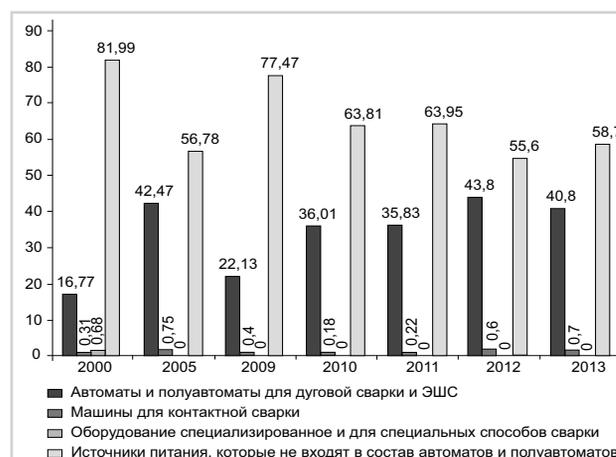


Рис. 17. Структура выпуска электросварочного оборудования, %

положительный только за счет значительного экспорта сварочных материалов (рис. 20).

Суммируя все вышеизложенное, можно сделать следующие выводы:

- Сварка является базовой технологией во многих отраслях промышленности и в строительстве. Динамика мирового производства и потребления конструкционных материалов позволяет сделать прогноз об увеличении объемов мирового сварочного производства в ближайшем будущем, невзирая на временные кри-

Таблица 5. Внешнеторговый баланс по сварочному оборудованию, млн. \$

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Экспорт	19,6	24,7	23,9	25,0	13,6	13,0	30,0	23,1	13,0
Импорт	9,5	24,4	32,3	42,7	8,0	17,0	30,1	32,9	17,6
Внешнеторговый баланс по сварочному оборудованию	10,1	0,3	-8,4	-17,7	5,6	-4,6	-0,1	-9,8	-4,6

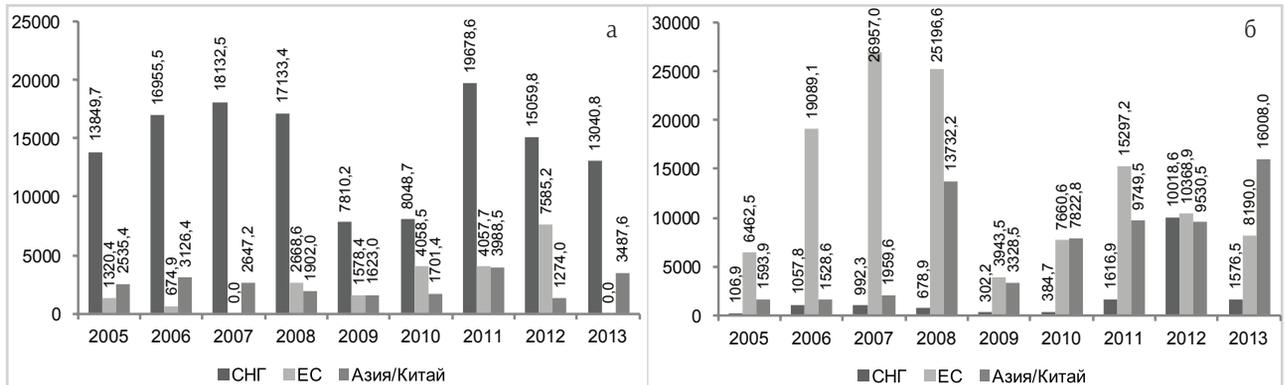


Рис. 18. Динамика экспортных (а) и импортных (б) операций по группе товаров сварочного оборудования по основным региональным объединениям, тыс. долл. США

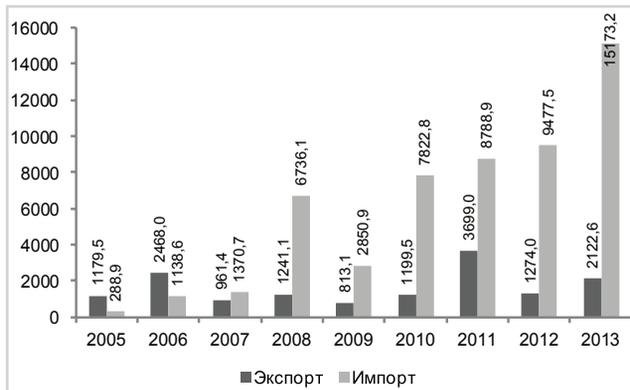


Рис. 19. Динамика экспортных и импортных операций с Китаем по группам сварочного оборудования, тыс. долл. США

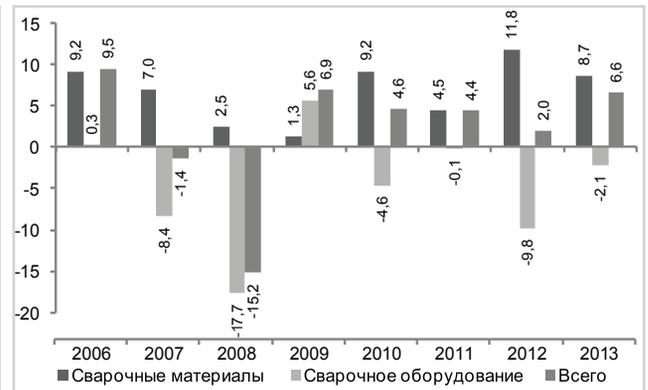


Рис. 20. Внешнеторговый баланс по группам товаров рынка сварочной техники Украины, млн. долл. США

зисные явления в экономике отдельных стран и регионов, спрос на сварочные материалы будет увеличиваться.

- Анализ мирового и региональных рынков сварочной техники показал, что в мире наблюдается устойчивый рост применения механизированной и автоматической дуговой сварки в защитных газах и с использованием порошковой проволоки, увеличение производства сварочной техники, за счет ввода новых производственных мощностей, для удовлетворения повышающегося спроса.
- Имеющиеся в Украине производственные мощности позволяют полностью удовлетворить внутренние потребности по большинству товаров сварочного производства.

Список литературы

1. Welding Products Market is set to reach USD 23.78 billion by 2010. – www.rtansparencymarketresearch.com.
2. Victor Technology Group, Inc. Annual report 2013. – www.victortechnologies.com
3. Welding Equipment and Supplies: The Global Market. – www.bccresearch.com
4. Worldwide demand for welding consumables. – «The Japan Welding News For The World» Spring Issue 2013. – Vol. 17. – N. 63.
5. Экономико-статистический обзор сварочного производства и рынка сварочной техники Украины в 1990–2013. – К.: Изд-во ИЭС им. Е.О. Патона, 2014. – 71 с.
6. Внешнеэкономическая деятельность Украины в 2002–2013 гг. / Сварочные материалы и оборудование. – К.: Изд-во ИЭС им. Е.О. Патона, 2014. – 56 с. ● #881

Сервисная карточка читателя

Без заполненного
формуляра
недействительна

Для получения дополнительной информации о продукции/услугах, упомянутых в этом номере журнала:

- обведите в Сервисной карточке индекс, соответствующий интересующей Вас продукции/услуге (отмечен на страницах журнала после символа «#»);
- заполните Формуляр читателя;
- укажите свой почтовый адрес;
- отправьте Сервисную карточку с Формуляром по адресу: **119049, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 6, стр. 7, оф.19, «Сварщик в России».**

869 870 871 872 873 874 875 876 877 878 879 880
881 882 883 884 885 886 887 888 889 890 891 892
893 894 895 896 897 898 899 900 901 902 903 904
905 906 907 908 909 910 911 912 913 914 915 916
917 918 919 920 921 922 923 924 925 926 927 928
929 930 931 932 933 934 935 936 937 938 939 940
941 942 943 944 945 946 947 948 949 950 951 952

Ф. И. О. _____

Должность _____

Тел. (_____) _____

Предприятие _____

Подробный почтовый адрес: _____

« _____ » _____ 2015 г.

_____ *подпись*

Формуляр читателя

Ф. И. О. _____

Должность _____

Тел. (_____) _____

Предприятие _____

Виды деятельности предприятия _____

Выпускаемая продукция / оказываемые услуги _____

Руководитель предприятия (Ф. И. О.) _____

Тел. _____ Факс _____

Отдел маркетинга / рекламы (Ф. И. О.) _____

Тел. _____ Факс _____

Отдел сбыта / снабжения (Ф. И. О.) _____

Тел. _____ Факс _____

Тарифы на рекламу в 2015 г.

На внутренних страницах

Площадь	Размер, мм	Стоимость, руб.
1 полоса	210×295	20000
1/2 полосы	180×125	10000
1/4 полосы	88×125	5000

На страницах основной обложки

Страница	Размер, мм	Стоимость, руб.
1 (первая)	215×185	45000
8 (последняя)	210×295 (после обрезки 205×285)	30000
2		28000
7		26000

На страницах внутренней обложки

Стр. (площадь)	Размер, мм	Стоимость, руб.
3, 1 полоса	210×295	25000
4, 1 полоса,	210×295	23000
3 и 4, 1/2 полосы	180×125	12000
5 и 6, 1 полоса)	210×295	22000
5 и 6, 1/2 полосы	180×125	11000

Изготовление оригинал-макета

- 10% стоимости рекламной площади

Статья на правах рекламы

- 1 стр. — 7500 руб.

Прогрессивная система скидок

Количество подач	2	3	4	5	6
● Скидка	5%	10%	13%	17%	20%

Требования к оригинал-макетам

Для макетов «под обрез»: формат издания после обрезки 205×285 мм; до обрезки 210×295 мм; внутренние поля для текста и информативных изображений не менее 15 мм. **Файлы принимаются в форматах:** PDF, AI, INDD, TIF, JPG, PSD, EPS, CDR, QXD с прилинкованными изображениями и шрифтами. Изображения должны быть качественными, не менее 300 dpi, цветные палитру CMYK, текст в кривых, если нет шрифтов.

Сопроводительные материалы: распечатка файла обязательна, для цветных макетов – цветная, с названием файла, размерами макета и подписью заказчика. Размеры макета должны точно соответствовать указанным редакцией.

Носители: CD, DVD, или флэш-диск.

Подача материалов в очередной номер — до 15-го числа нечетного месяца (например, в № 5 — до 15.09)

Зам. гл. ред., рук. рекл. отд. **В.Г. Абрамишвили**, к. ф.-м. н.:
тел./факс: +380 44 200-80-14, моб. +380 50 413-98-86
e-mail: welder.kiev@gmail.com

Зам. рук. рекл. отд., ред., **О.А. Трофимец:**
тел./факс: +380 44 200-80-18
e-mail: trofimits.welder@gmail.com
www.welder.stc-paton.com\

Заполняется печатными буквами

XIV МЕЖДУНАРОДНЫЙ ПРОМЫШЛЕННЫЙ ФОРУМ – 2015

МЕЖДУНАРОДНЫЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ ВЫСТАВКИ И КОНФЕРЕНЦИИ



**МЕТАЛЛО-
ОБРАБОТКА**

МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩИЕ
ТЕХНОЛОГИИ, ОБОРУДОВАНИЕ



**УКРПЛАСТ
TECH**

ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ
ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА
И ПЕРЕРАБОТКИ ПЛАСТМАСС



**ГИДРАВЛИКА
ПНЕВМАТИКА**



**УКРПРОМ
АВТОМАТИЗАЦИЯ**

ПРОМЫШЛЕННАЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ



**ОБРАЗЦЫ, СТАНДАРТЫ,
ЭТАЛОНЫ, ПРИБОРЫ**

КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ,
ЛАБОРАТОРНОЕ И ИСПЫТАТЕЛЬНОЕ
ОБОРУДОВАНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ



**БЕЗОПАСНОСТЬ
ПРОИЗВОДСТВА**

СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ, БЕЗОПАСНОСТЬ
РАБОЧЕЙ ЗОНЫ



**УКРМАШ
TECH**

ПРОМЫШЛЕННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ, ОБОРУДОВАНИЕ



**УКРВТОР
TECH**

КОМИССИОННАЯ ТЕХНИКА,
ОБОРУДОВАНИЕ



ПОДШИПНИКИ



УКРСВАРКА

ТЕХНОЛОГИИ, ОБОРУДОВАНИЕ
И МАТЕРИАЛЫ



**ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНОЕ
СКЛАДСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ**



УКРЛИФТЬ

Генеральный
информационный партнер:

**ОБОРУДОВАНИЕ
И ИНСТРУМЕНТ**

Технический партнер:

RentMedia

ufi
Approved
Event



ОРГАНИЗАТОР

Международный выставочный центр

ПРИ ПОДДЕРЖКЕ:

**Украинской Национальной Компании
"Укрстанкоинструмент"**

**24-27
НОЯБРЯ**



+38 044 201-11-65, 201-11-56, 201-11-58

e-mail: lilia@iec-expo.com.ua

www.iec-expo.com.ua

www.tech-expo.com.ua

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ
ВЫСТАВОЧНЫЙ ЦЕНТР**
Украина, Киев, Броварской пр-т, 15
М "Левобережная"

ГАЗОПЛАМЕННАЯ АППАРАТУРА МАРКИ «НОРД-С»®

Самая совершенная, эффективная и безопасная газорезательная техника в России — проверено и подтверждено многолетним опытом практической работы.



ВЫБОР УГЛА НАКЛОНА
90°, 110°, 180°
для работы вертикально, поперек с углом наклона, сзади и внахлестку

РУЧНОЙ ГАЗОВЫЙ РЕЗАК
ПОВЫШЕННОЙ НАДЕЖНОСТИ
МАРКИ «НОРД-С»®

МОНОБЛОЧНАЯ РУКОЯТКА
износостойкая и долговечная

- повышенная износостойкость и долговечность
- повышенная частота реза (отсутствие нагара и напыления)
- высокая экономичность (экономия горючего газа и кислорода на 30-40%)
- универсальность (эффективная работа на любой горючий газ: кислород, ацетилен, пропан-бутановый, природный газ)
- прочность (выдерживает до 2-3 мм) рез
- ремонтопригодность

Длина рабочего инструмента резака	
стандартный	535 мм
укороченный	485 мм
удлинненный	800 мм
длинный	1000 мм

ОТСУТВИЕ РЕЗИНОВЫХ УПЛОТНЕНИЙ
отсутствие резиновых уплотнений и повышенная надежность

РУЧНАЯ ГАЗОВАЯ ГОРЕЛКА
ПОВЫШЕННОЙ НАДЕЖНОСТИ
МАРКИ «НОРД-С»®

МОНОБЛОЧНАЯ РУКОЯТКА
износостойкая и долговечная

- моноблочная и универсальная конструкция и долговечность
- повышенная частота реза (отсутствие нагара и напыления)
- экономичность (экономия горючего газа и кислорода на 30-40%)
- удобство работы и полный пространственный поворот
- универсальность (эффективная работа на любой горючий газ: кислород, ацетилен, пропан-бутановый, природный газ)
- ремонтопригодность

модификация	длина рабочего инструмента L, мм	толщина реза, мм	материал	
пропан	стандартный	535	200	1П, 2П, 3П, 3А, 2А
ацетилен	стандартный	535	200	1П, 2П, 3П, 1А, 2А
универсальная	стандартный	535	200	1П, 2П, 3П, 1А, 2А
пропан	укороченный	485	200	1П, 2П, 3П
пропан	удлинненный	800	200	1П, 2П, 3П
пропан	длинный	1000	200	1П, 2П, 3П

Рекомендуем использовать с газопламенной аппаратурой «НОРД-С»®

БАЛЛОННЫЙ ГАЗОВЫЙ РЕДУКТОР
ПОВЫШЕННОЙ НАДЕЖНОСТИ
МАРКИ «НОРД-С»®

универсальный редуктор латунь



пропановый ВР-3-3 «НОРД-С»®



кислородный ВКО-5В-3 «НОРД-С»®



углекислотный УР-6-6 «НОРД-С»®



универсальный ВАО-5-3 «НОРД-С»®

Комплекующие к резакам и горелкам марки «НОРД-С»®



www.nord-s.com / nord-s.ru



НАВКО-ТЕХ

Automatic machines and robots for arc welding

Автоматические установки и роботы для дуговой сварки и наплавки



установки для сварки прямых швов

установки для сварки кольцевых швов

РОБОТТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ для сварки

сварочная аппаратура



Украина, Киев
Тел.: +38 044 456-40-20
Факс: +38 044 456-83-53

<http://www.navko-teh.kiev.ua>

E-mail: Info@navko-teh.kiev.ua

ООО ППП РЕММАШ

Украина, 49083, г. Днепропетровск
пр. им. Газеты «Правда» 29, к. 603
т. (0562)347 009, (056)790 0133
тел./факс (056) 371 5242
E-mail: remmash_firm@ukr.net

Разработка и изготовление оборудования

для механизированной дуговой наплавки

PM-9 — установка автоматической дуговой наплавки гребней железнодорожных колесных пар



PM-15 — универсальная установка автоматической дуговой наплавки деталей горного оборудования

ИЗРМ-5 — универсальная установка автоматической дуговой наплавки малогабаритных цилиндрических деталей

